ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XIV Avril 1955 NUMÉRO 54

SOMMAIRE

Article de Tête: L'Année Géophysique Internationale 59

621.384.6:537.13:537.591.1
Les accélérateurs pour la production des particules à grande énergie — SIR JOHN COCKCROFT et T. G. PICKAVANCE — 61

541.653:548.73
Détermination de la configuration absolue des antipodes optiques — J. M. BIJVOET — 71

594.5:591.176:591.18
Les changements de couleur des céphalopodes — WILLIAM HOLMES — 78

539.17:546.79
Aspects chimiques de l'industrie atomique — E. GLUECKAUF — 83

681.2(091)
Les premiers fabricants d'instruments en Angleterre — DEREK J. PRICE — 90

595.3:591.176:591.147
Changements de couleur des crustacés et neurosécrétion — SIR FRANCIS KNOWLES — 95

049.3
Revue des livres 105

Livres reçus 110

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

L'Année Géophysique Internationale

De toutes les sciences la géophysique est celle dont les progrès dépendent le plus de la coopération internationale. Deux grandes entreprises internationales, les Première (1882–83) et Deuxième (1932–33) Années Polaires Internationales, firent des apports substantiels à nos connaissances dans certains domaines de la géophysique, notamment le magnétisme terrestre, les aurores, et la météorologie.

On établit en ces occasions un certain nombre de stations dans les régions polaires, où les perturbations du champ magnétique terrestre sont le plus marquées, les aurores le plus fréquentes et où se situent les deux points du globe où les orages sont le plus intenses.

Les observations ionosphériques ont figuré au programme des travaux de la Deuxième Année Polaire, bien que les recherches sur l'ionosphère fussent encore à leurs débuts. Or, depuis 1933, on a mis au point de nouvelles techniques d'observations et comme, d'autre part, la solution de nombreux problèmes de géophysique est subordonnée aux observations faites en diverses parties du monde, l'avis général est que la géophysique aurait beaucoup à gagner si ces problèmes faisaient l'objet d'une troisième année internationale.

Une proposition à cet effet, adoptée en 1950 et 1951 par les unions internationales intéressées, reçut l'approbation du Conseil International des Unions Scientifiques, qui donna plus d'ampleur au projet en y ajoutant des observations à toutes les latitudes. Telle est l'origine de l'entreprise officiellement appelée l'Année Géophysique Internationale, dont la mise sur pied a été confiée, dans chacun des 36 pays participants, à un comité national, et, à l'échelon international, au Comité Spécial de l'Année Géophysique Internationale (C.S.A.G.I.). Il y a lieu de se réjouir de ce que l'Union Soviétique ait accepté de se joindre à l'entreprise, qui bénéficie également de l'adhésion de l'Organisation Météorologique Mondiale.

Le Comité Spécial a décidé que l'«année» s'étendrait de juillet 1957 à décembre 1958. Ceci a son importance, car on approchera en 1957–58 d'un maximum d'activité solaire. On pourra alors s'attendre à voir se multiplier les taches, les éruptions chromosphériques et les protubérances.

On a constaté une étroite corrélation entre l'activité solaire et les phénomènes terrestres tels que les perturbations géomagnétiques, les aurores, les orages ionosphériques et les irregularités dans la propagation des ondes radioélectriques. Mais il y a encore beaucoup à élucider dans les processus physiques de l'interaction entre le Soleil et la Terre. Des dispositions sont prises pour que les observations solaires soient aussi continues que possible au moyen d'une répartition appropriée des stations en longitude. On observera la couronne solaire à partir des stations élevées; on mesurera le champ magnétique permanent du Soleil et les champs localisés aux environs des taches et autres régions perturbées; on assurera la surveillance cinématographique continue des caractéristiques solaires et des perturbations de la chromosphère, et on observera par différentes méthodes les ondes radioélectriques émises par le Soleil.

On étudiera également la météorologie, le géomagnétisme, les aurores, la lumière du ciel nocturne, la physique de l'ionosphère, les rayons cosmiques, les longitudes et les latitudes, la glaciologie et l'océanographie.

Il va de soi que les stations permanentes consacrées aux domaines précités participeront aux travaux, en augmentant dans la plupart des cas le champ et le nombre de leurs observations. Etant donné cependant que celles qui existent ne sont pas échelonnées comme il le faudrait en longitude et en latitude, des stations spéciales combleront les lacunes du réseau des stations permanentes.

On envisage trois chaînes de stations échelonnées le long de trois méridiens: celui de 80° W qui traverse l'Amérique du Nord et longe la côte occidentale de l'Amérique du Sud; celui de 10° E qui traverse l'Europe Occidentale, la Tunisie et le Sahara, et longe la côte occidentale de l'Afrique, et le 140° E qui passe par la Sibérie, le Japon, la Nouvelle-Guinée et l'Australie. Cette disposition favorisera tout spécialement l'étude de la circulation atmosphérique générale, et sera utile dans d'autres parties du programme, notamment l'étude de la lueur nocturne, de l'ionosphère et des rayons cosmiques.

Les régions antarctique, arctique et équatoriale seront l'objet d'une attention spéciale. La première présente le plus haut intérêt: ce massif continental, recouvert d'une épaisse calotte glaciaire, est la région la plus froide du globe; il faudrait connaître son influence sur les conditions atmosphériques mondiales et sur la dynamique de

l'atmosphère et des océans. On est encore peu renseigné sur les aurores australes: diffèrent-elles des aurores boréales? Quelle est au juste l'orientation de leur zone de fréquence maximum? On se propose d'élucider également les effets de l'absence prolongée de lumière sur l'ionosphère. D'autre part les régions polaires conviennent idéalement aux études sur le magnétisme terrestre. On a déjà arrêté l'établissement de onze stations sur le continent antarctique et de dix dans les îles avoisinantes. Une station sera établie au Pôle Sud même ou tout près. Dans l'Arctique, la zone aurorale est bien placée pour l'observation, et la collaboration des savants soviétiques aux travaux qui seront entrepris dans cette région sera particulièrement appréciée. Là également la météorologie, les aurores, la lueur nocturne et le magnétisme terrestre feront l'objet d'études spéciales. On espère que plusieurs stations temporaires seront établies au Groenland.

La région équatoriale a aussi son importance pour l'étude du magnétisme terrestre, de l'ionosphère et des rayons cosmiques. On fera des recherches sur les courants électriques de la haute atmosphère, dont l'existence semble démontrée par les variations magnétiques observées.

On utilisera des méthodes spéciales pour renforcer les observations au sol. On obtiendra par ballons-sondes des renseignements sur la pression, la densité et la température de l'atmosphère; sur l'anémométrie et l'intensité du rayonnement cosmique, jusqu'à une hauteur de 32 km. Des avions spéciaux exploreront l'ionosphère. Des fusées pouvant atteindre des altitudes de 200 km et d'autres, moins puissantes, lancées à partir de ballons ou d'avions et pouvant s'élever jusqu'à 80 km, porteront divers appareils enregistreurs et télémétriques. Ces moyens permettront de recueillir des données à différentes altitudes, de déterminer la composition de l'atmosphère à différents niveaux, d'étudier les réseaux de courants électriques de l'atmosphère, et enfin de photographier, au-dessus de la couche d'ozone, la région de l'extrême ultra-violet du spectre solaire.

On entreprendra sur toute la surface du globe la détermination des longitudes et des latitudes et deux questions relatives au mouvement de la Terre seront étudiées à la lumière des données météorologiques: la première a trait à la faible variation saisonnière de la vitesse de rotation, due à une variation saisonnière du moment angulaire des vents et de la variation compensatrice du moment angulaire de la Terre; et la deuxième aux variations annuelles des latitudes correspondant aux changements saisonniers de pression atmosphérique, qui déplacent des masses d'air et font varier légèrement l'inclinaison de l'axe de la Terre. La détermination des heures de réception et d'émission des signaux horaires renseigneront sur la vitesse de propagation des ondes longues et courtes et sur leur subordination aux conditions ionosphériques.

Dans les observatoires on photographiera la Lune et les étoiles au moyen d'appareils d'un modèle spécial montés sur télescopes, et on pourra ainsi étudier les variations de la vitesse de rotation de la Terre et effectuer la triangulation de la surface totale de celle-ci.

En sus des observations journalières on a prévu chaque mois deux «Journées Mondiales Régulières» consacrées à des observations «concentrées» auxquelles participeront toutes les stations simultanément. Ces observations porteront sur tous les phénomènes liés les uns aux autres. Les deux jours choisis seront ceux de la nouvelle lune et du premier quartier (ou aux environs). Quelques Journées Mondiales additionnelles seront choisies en vue d'observations spéciales, au cas où elles seraient marquées d'une activité météorique inusitée ou d'une éclipse solaire.

Les observations doivent être plus serrées en périodes d'activité solaire intense, mais comme on ne peut prévoir ces périodes assez longtemps à l'avance, un plan a été préparé pour la diffusion rapide d'un avertissement aussitôt que des signes d'activité solaire anormale se présenteront.

L'Année Géophysique Internationale est le plus vaste projet de collaboration internationale qui ait jamais été conçu.

Les accélérateurs pour la production des particules à grande énergie

par SIR JOHN COCKCROFT et T. G. PICKAVANCE

On est arrivé à produire artificiellement les particules diverses découvertes récemment dans le rayonnement cosmique, en bombardant des noyaux atomiques au moyen de faisceaux de protons ou d'électrons de haute énergie. On utilise à cet effet les accélérateurs qui font l'objet du présent article. L'étude des particules en question fera sans doute mieux connaître les forces nucléaires, et partant la structure intime de la matière.

Quarante années seulement ont passé depuis que Rutherford et ses collaborateurs ont pour la première fois déduit le modèle nucléaire de l'atome de l'étude de la diffraction des particules α provenant de sources radioactives naturelles par le champ électrostatique des noyaux atomiques. Depuis cette époque, le développement rapide de la physique nucléaire a largement bénéficié de la construction de grosses machines destinées à accélérer les particules chargées. Vers 1930, les premiers accélérateurs — le générateur à haute tension de Cockcroft et Walton et le cyclotron de Lawrence — fonctionnaient à une tension de quelques centaines de kV. Le plus gros accélérateur actuel, le «Bevatron» de Berkeley (Californie) produit des protons de 6 GeV ($6 \cdot 10^9$ électron-volts), et on prévoit maintenant deux appareils capables de produire des protons avec des énergies de 20–30 GeV. L'un d'eux sera construit au nouveau Laboratoire de l'«Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire» à Genève. L'autre appareil sera construit au *Brookhaven National Laboratory* aux Etats-Unis.

Les machines présentes et futures doivent en somme servir à nous faire mieux comprendre le jeu des forces nucléaires. Par exemple, elles permettent, pour toute une série d'énergies de bombardement, l'étude de la diffraction des protons par les protons, ou des neutrons par les protons, et dans les plus grosses machines, l'étude de la production des mésons π et de leur interaction avec d'autres particules. Les mésons π, observables sous une forme positive, négative ou neutre, ont des masses voisines de 280 fois celle d'un électron, et sont instables; leur vie moyenne est de l'ordre de 10^{-8} seconde (formes positive ou négative), ou 10^{-15} seconde (forme neutre). On pense qu'ils jouent un rôle très important dans les forces qui maintiennent neutrons et protons réunis dans le noyau. Les variétés chargées de mésons π ont été découvertes à Bristol, par C. F. Powell et ses collaborateurs, au cours d'études sur les rayons cosmiques, mais ces rayons n'en produisent qu'en petite quantité. On peut les produire en quantités relativement grandes lors du bombardement de noyaux par des faisceaux intenses de particules dont l'énergie cinétique est de quelques centaines de MeV. Lorsque l'énergie est encore plus grande, on produit artificiellement d'autres particules, instables, et plus lourdes, en particulier les particules V découvertes dans les rayons cosmiques par l'école de P. M. S. Blackett à Manchester. On les a déjà observées maintes fois, avec le Cosmotron de 2,8 GeV du *Brookhaven National Laboratory*.

Les plus gros appareils ne rendent pas désuets les appareils à basse énergie, et l'on s'intéresse également à tous les niveaux, depuis environ 1 MeV, niveau atteint depuis longtemps. Les appareils prévus pour donner de grandes énergies ne sont pas en général les meilleures sources de particules à basse énergie, car il faut sacrifier l'intensité et souvent la souplesse, pour réaliser des énergies élevées à un prix de revient acceptable.

Les expériences à haute énergie font appel à la fois à des électrons et à des particules lourdes. C'est l'accélération d'électrons qui est la plus facile, mais on ne peut accélérer les deux types de particules dans le même appareil. Cependant, les protons sont un outil plus puissant en physique nucléaire, et en conséquence, on a consacré plus d'efforts aux appareils à protons qu'aux appareils à électrons. Mais certains phénomènes électro-magnétiques ne peuvent être étudiés qu'à l'aide de faisceaux d'électrons.

Caractéristiques Générales des Accélérateurs à Haute Energie

A l'exception du bétatron, tous font appel à des accélérations étagées, sous l'effet de champs

électriques à haute fréquence; le bétatron utilise un champ électrique associé à un champ magnétique variable pour accélérer des électrons jusqu'à environ 300 MeV. La nécessité de stabiliser les particules constitue le problème le plus important à résoudre dans l'élaboration des grosses machines. Ce problème est double. Les particules sont soumises à l'action de champs électriques répétés, maintenus entre des plaques par des générateurs à haute fréquence, et il faut qu'elles arrivent entre ces plaques, en nombre utilisable, à des instants déterminés du cycle à haute fréquence pour que l'accélération se poursuive. En plus, il faut trouver un moyen de faire converger le faisceau, pour qu'elles passent entre les plaques en nombre utilisable, au lieu d'aller se perdre dans les parties solides du système accélérateur. La phase du mouvement des particules par rapport au champ électrique à haute fréquence dépend des propriétés du système d'injection de ces particules, d'erreurs de construction, ou analogues, ou de variations irrégulières, en amplitude ou en fréquence, du champ à haute fréquence. Des changements indésirables de direction peuvent résulter des conditions d'injection, d'erreurs de construction, de phénomènes de diffusion par le gaz résiduel dans la chambre à vide. L'importance relative de ces divers facteurs dépend du type d'accélérateur. Dans les très grosses machines où les accélérations élémentaires sont très nombreuses, et où le trajet total des particules est long, il faut prévoir une «focalisation» en phase et direction. Ceci va entraîner des oscillations stables de la phase, et, par suite, de l'énergie et de la position des particules autour de certaines positions d'équilibre. De même, il y aura des oscillations de la position des particules, associées avec les forces de focalisation spatiale.

Les appareils se divisent en deux catégories générales: les accélérateurs linéaires et les accélérateurs à orbite fermée. Dans les premiers, on a un grand nombre de plaques et de générateurs à haute fréquence (ou, dans un petit appareil, un générateur unique de grande puissance) destinés à accélérer les particules en ligne droite. Dans les accélérateurs à orbite fermée, un champ-guide magnétique permet d'utiliser les mêmes plaques, ou séries de plaques, un grand nombre de fois, avec un petit nombre de générateurs de puissance relativement basse. Pour les protons, et autres particules lourdes, les accélérateurs à orbite fermée (synchrocyclotron et cyclotron à protons) sont de loin en tête dans la course aux énergies élevées, et le resteront probablement. C'est parce qu'il est plus difficile d'obtenir un grand nombre de systèmes à haute fréquence de fonctionnement sûr que de fabriquer un gros aimant, et parce que le coût total par unité d'énergie particulaire dans un appareil à orbite fermée est dans l'état actuel des choses bien moindre que dans un appareil linéaire, dans le domaine multi-GeV. Mais les électrons, eux, ont déjà essentiellement la vitesse de la lumière, même avec des énergies très basses, et par suite, un gros appareil à électrons a affaire à des particules à vitesse constante pendant la presque totalité de l'«accélération».

Cet état de choses vient de ce que certaines difficultés, inhérentes à l'emploi de l'accélérateur linéaire, ne sont importantes que lorsqu'il s'agit de protons, et qu'un défaut particulier à l'accélérateur à orbite fermée ne se révèle qu'avec les électrons. Dans la région de phase stable d'un accélérateur linéaire, il se produit une défocalisation en direction très importante. Aux vitesses «relativistes» extrêmes, qu'on observe même avec des énergies électroniques faibles, le mouvement causé par les forces électriques défocalisantes s'annule pratiquement, et on peut facilement éviter tout ennui après les quelques premiers MeV (en pratique, le premier mètre) d'accélération dans l'appareil linéaire. De plus, on peut le faire fonctionner sous une faible longueur d'onde, en général voisine de 10 cm, et l'accélérateur proprement dit est un guide d'onde sectionné et cannelé de petit diamètre. On réalise maintenant des générateurs compacts de puissance sous faible longueur d'onde, capables de donner chacun plusieurs MW en impulsions brèves, depuis le développement des valves klystron à l'Université Stanford. Par contre, on ne peut accélérer efficacement les particules lentes, telles que les protons de quelques centaines de MeV, ou moins, qu'avec des longueurs d'ondes plus grandes, et il faut utiliser un guide d'onde volumineux et relativement coûteux. On n'a pas encore mis au point des générateurs à haute puissance compacts, et efficaces sous ces longueurs d'ondes, et tant pour cette raison, qu'à cause des difficultés de focalisation, l'accélérateur de protons linéaire s'est relativement peu développé jusqu'à présent.

La difficulté qui apparaît dans les appareils à orbite fermée pour électrons, c'est que ceux-ci rayonnent de l'énergie dans leur mouvement circulaire, et cette perte d'énergie doit être compensée par le système accélérateur. Cet effet est très faible avec les protons, plus lourds, même dans les plus gros appareils actuellement prévus, mais il devient sérieux avec des électrons de quelques

GeV. Dans les accélérateurs linéaires, la perte d'énergie par rayonnement est totalement négligeable, même avec les électrons.

Facteurs Economiques

Les plus gros accélérateurs sont excessivement coûteux, et les questions de prix de revient jouent un grand rôle dans la prévision du type que l'on voudra utiliser pour les grandes énergies. Par exemple, le Cosmotron de Brookhaven qui produit des protons de 2,8 GeV (bientôt 3,0 GeV), aurait coûté 7 millions de dollars, et on s'attend à ce que l'appareil de 20–30 GeV, projeté à Brookhaven, coûte 20 millions de dollars. L'aimant et son alimentation entrent pour un quart dans le prix du Cosmotron. L'énergie d'une particule dans une machine à orbite fermée dépend du produit du rayon de l'orbite par l'intensité du champ magnétique, mais les effets de saturation dans le fer limitent le champ magnétique à 20 000 gauss, ou moins. On ne peut donc augmenter l'énergie d'une particule qu'en augmentant le rayon de l'orbite.

L'expérience a montré que le synchrocyclotron était un des accélérateurs les plus sûrs et les plus puissants, mais son emploi est prohibé pour les énergies les plus élevées, parce que le coût de l'aimant augmente très rapidement avec l'énergie demandée. Dans le synchrocyclotron, on accélère les protons (ou les deutons, ou les particules α) dans un champ magnétique permanent, et ils décrivent en conséquence des orbites fermées, dont le rayon augmente avec leur vitesse. Comme on injecte les particules avec une vitesse presque nulle, il faut avoir un aimant capable de créer un champ intense dans tout un volume cylindrique. L'aimant d'un synchrocyclotron de 600 MeV, qui sera bâti à Genève contiendra 2500 tonnes d'acier, et coûtera près de 500 000 livres; le rayon final de l'orbite sera d'environ 225 cm. Par contre, le synchrotron à protons accélère les particules dans un champ magnétique qui croît avec le temps de telle façon que le rayon de l'orbite reste constant. L'aimant de cet appareil doit donc créer un champ intense dans un volume annulaire, ce qui permet une économie d'acier pour une orbite de rayon donné. Le Cosmotron de Brookhaven est une machine de ce type; son aimant contient environ 2000 tonnes d'acier pour une orbite d'environ 9 m de rayon, si bien qu'on peut accélérer des protons jusqu'à des énergies quatre ou cinq fois plus grandes qu'avec le synchrocyclotron, en utilisant moins d'acier. Néanmoins, le synchrotron à protons pose bien des problèmes à propos de la stabilité des particules, qui n'existent pas avec le synchrocyclotron. De plus, avec les techniques actuelles, le faisceau obtenu est beaucoup moins intense. Cependant, le coût d'un synchrocyclotron en prohibe l'emploi pour les énergies très supérieures à 1 GeV, et il faut utiliser un synchrotron à protons. Pour le but que l'on vise actuellement, c'est-à-dire 20–30 GeV, même le synchrotron à protons coûterait trop cher.

Quelques Caractéristiques de Types Particuliers d'Accélérateurs

Accélérateurs linéaires

Seuls nous intéressent ici les accélérateurs à haute énergie, et pour les électrons un seul appareil de ce modèle a été construit jusqu'à l'heure. Il est à l'Université Stanford, et consiste en un guide d'onde sectionné et cannelé, d'une longueur totale de 60 m, et travaillant sur une longueur d'onde de 10 cm. La puissance est fournie par 21 klystrons spéciaux, mis au point à Stanford, donnant chacun une puissance de plus de 10 MW en pulsations qui durent environ 1 μs. On est arrivé à produire une énergie voisine de 600 MeV, et on espère améliorer ce chiffre dans l'avenir. Cet appareil a déjà permis d'obtenir des résultats importants sur la diffraction des électrons à haute énergie.

Le plus gros de tous les accélérateurs linéaires de protons actuellement en service est l'appareil de 32 MeV construit il y a quelques années à l'Université de Californie. Il y a un appareil de 60 MeV presque terminé à l'Université de Minnesota. On étudie actuellement au Centre de Recherches Nucléaires à Harwell, ainsi qu'à la *Metropolitan-Vickers Electrical Company Limited*, la réalisation d'un appareil beaucoup plus gros, capable de donner des protons de 600 MeV. L'extraction du faisceau ne pose pas de problème, ce qui veut dire que par rapport à un synchrocyclotron accélérant le même courant de protons, on peut obtenir des faisceaux plus intenses. Ceci associé à la possibilité d'arriver dans la suite à des énergies plus élevées, fait de l'accélérateur linéaire à haute énergie pour protons un appareil intéressant, tout particulièrement pour les recherches sur les mésons π, si on peut le réaliser à un prix raisonnable. Des perfectionnements récents apportés à l'extraction du faisceau du synchrocyclotron, dont nous parlerons plus loin, ont toutefois diminué ces avantages. Un accélérateur linéaire pour protons aurait environ 300 m de long, et nécessiterait des impulsions à haute fréquence d'environ 100–150 MW. A Harwell, presque

toute cette puissance devra être fournie à une fréquence de 400 Mc/s, et une partie essentielle du projet sera le développement de nouveaux types de valves. La durée de l'impulsion sera 200 μs, et il y en aura 50 par seconde, si bien que la puissance moyenne nécessaire sera de 1 à 1,5 MW.

LE SYNCHROCYCLOTRON

Les particules décrivent des orbites concentriques fermées dans un champ magnétique permanent, et sont accélérées par un champ électrique à haute fréquence. Elles partent avec une vitesse très faible, et décrivent donc une orbite de très petit rayon; celui-ci s'accroît au cours de l'accélération. La période orbitale croît légèrement avec l'accroissement d'énergie. Une partie de cet accroissement est due à ce que le champ magnétique doit diminuer légèrement lorsque le rayon augmente, pour produire les forces nécessaires à la focalisation; le reste est dû à l'augmentation relativiste de la masse des particules avec leur vitesse. La fréquence du champ accélérateur est réduite lentement, pendant l'accélération, de façon à compenser tout juste l'accroissement de période orbitale, pour que certaines des particules continuent à le suivre. Les forces de focalisation produites par une légère diminution radiale du champ magnétique guide sont assez grandes pour éviter la perte de la plupart des particules, une fois qu'elles sont «tombées» sur les orbites de phase stable.

Cet appareil n'a servi qu'avec des particules lourdes, comme les protons, car même avec des énergies très faibles, les électrons ont presque la vitesse de la lumière, et il faudrait en conséquence un domaine très étendu de modulations de fréquence pour pouvoir les manipuler.

Il y a six grands synchrocyclotrons aux Etats-Unis, dont l'énergie va de 140 à 450 MeV; un au Canada (110 MeV); un en Suède (190 MeV), et deux en Grande-Bretagne. Le nouveau synchrocyclotron de Liverpool (figure 3) produit des protons de 400 MeV, et celui de Harwell, qui fonctionne depuis 1949, des protons de 175 MeV (figure 4). L'appareil de Berkeley, en Californie, le premier qui ait fonctionné (1946), va bientôt être perfectionné (de 340 à 730 MeV).

Les synchrocyclotrons sont des appareils sûrs et puissants: ainsi, celui de Harwell fonctionne régulièrement pendant 2000 heures ou plus et ne demande qu'un entretien réduit. Il produit un faisceau dont l'intensité est voisine de 2 μA. C'est un résultat typique.

On a réalisé un progrès notable dans la technique du synchrocyclotron au laboratoire de H. W. B. Skinner, à Liverpool. On utilise avec le nouveau synchrocyclotron de 400 MeV une nouvelle technique d'extraction, proposée il y a un certain temps à Chicago, mais mise au point théoriquement et expérimentalement à Liverpool par K. J. Le Couteur, A. V. Crewe, et d'autres chercheurs. On a déjà extrait 3% du courant porté par le faisceau interne; c'est au moins mille fois plus qu'avec les méthodes précédentes, et cela augmentera énormément l'utilité du synchrocyclotron dans les recherches sous haute énergie.

LE SYNCHROTRON À ÉLECTRONS

Le champ magnétique guide augmente avec le temps, pendant l'accélération par le champ à haute fréquence, de telle façon que le rayon de l'orbite reste constant. Si on injecte les electrons doués d'une énergie de quelques MeV, ou qu'on les accélère par un système bétatron au début de l'opération, leur vitesse restera ensuite pratiquement constante, et la fréquence du champ à haute fréquence peut, elle aussi, demeurer constante. On peut se contenter d'appliquer le champ magnétique dans un volume annulaire, mais la culasse de l'aimant doit être laminée, pour éviter les courants de Foucault lors des variations du champ.

Dans ces expériences, on utilise d'ordinaire le *Bremsstrahlung*, cette radiation électromagnétique continue qui se produit lorsque des électrons heurtent une cible interne. Ce rayonnement à haute énergie est un outil expérimental puissant. Bien qu'on ait enregistré quelques succès dans cette voie, l'extraction du faisceau d'électrons est une source de difficultés techniques considérables.

Il y a plusieurs grands synchrotrons à électrons aux Etats-Unis, produisant de 300 à 350 MeV, et on a récemment terminé un appareil de 350 MeV à Glasgow (figure 5). Un de ces appareils, au *California Institute of Technology*, produit des électrons de presque 1 GeV, et on en a prévu un de 5–6 GeV, qui serait construit en commun par le *Massachusetts Institute of Technology* et l'Université de Harvard.

SYNCHROTRON À PROTONS

L'intérêt de ce type d'appareil vient de ce qu'avec les techniques actuelles, c'est celui qui donne les plus énergiques des particules artificiellement produites. L'aimant est également laminé, avec un entrefer annulaire, et produit un champ magnétique qui augmente avec le temps au cours de l'accélération. Mais la vitesse des protons

s'accroît notablement avec l'énergie, et pour plusieurs GeV on s'approche de celle de la lumière. Il faut donc accroître la fréquence du champ à haute fréquence pendant l'accélération, pour que le rayon de l'orbite reste constant, et il faut maintenir une corrélation précise («tracking») entre les variations de fréquence et les variations de champ magnétique. C'est une source de complications considérables qui n'existent pas dans les autres appareils. De plus, il n'est pas possible de recycler le champ magnétique très rapidement avec un gros aimant, et les particules sont accélérées par poussées, à raison de quelques-unes par minute. Par contre, la variation de fréquence sur le synchrocyclotron peut s'effectuer très rapidement, et, avec cet appareil, on peut réaliser communément cent «poussées» par seconde. Ces différentes raisons font qu'avec les techniques actuelles, l'intensité du faisceau de particules du synchrotron à protons atteint tout au plus le millième de celle d'un synchrocyclotron.

M. L. E. Oliphant a proposé le premier, l'appareil qu'on devait appeler plus tard le synchrotron à protons. L'appareil de Birmingham (figure 6) a fonctionné quelque temps à 1 GeV. La figure 7 est une photographie du Cosmotron de 2,8–3,0 GeV de Brookhaven. On accélère d'abord les protons jusqu'à environ 4 MeV avec un générateur électrostatique, puis on les injecte dans l'entrefer d'un gros aimant, où ils subissent une nouvelle accélération, parcourant environ $3 \cdot 10^6$ cycles en environ une seconde. Ils parcourent ainsi environ 160 000 km. L'aimant reçoit l'énergie en impulsions fournies par un alternateur de 21 MVA, dont l'arbre porte un volant de 45 tonnes. De cette façon, le volant cède une partie de son énergie cinétique au système électrique pendant l'impulsion, puis il est accéléré de nouveau, pour être prêt pour la nouvelle impulsion, par un moteur relativement peu puissant. Environ 75% de l'énergie emmagasinée dans l'aimant (environ 10^7 joules) retourne au volant pendant l'intervalle qui sépare les impulsions, grâce à des commutateurs à décharge gazeuse disposés dans le circuit de l'alternateur. On utilise le même système, avec des variations de détail, dans tous les synchrotrons à protons. Le Bevatron de 6 GeV de Berkeley en Californie, est encore plus grand (figure 8). L'aimant pèse 10 000 tonnes, et le rayon de l'orbite est d'environ 18 m. Les particules injectées sont fournies par un accélérateur linéaire à protons de 10 MeV. On construit en ce moment en Australie, sous la direction d'Oliphant, un nouvel appareil de 15 GeV, avec un aimant à noyau d'air.

Les forces de focalisation, nécessaires pour ramener les particules égarées sur leurs orbites correctes correspondent à des oscillations stables des particules sur ces orbites. Nous avons vu que dans le cas du synchrotron à protons, les considérations économiques imposaient l'emploi d'un entrefer aussi petit que possible, mais il y a une limite imposée par l'espace nécessaire à ces oscillations, et par des perturbations dues à des erreurs de construction et de repérage du temps inévitables. Si l'on pouvait augmenter la fréquence des oscillations, il est clair que l'amplitude résultant d'un déplacement angulaire donné d'une particule serait réduite en proportion. Dans le cas de la méthode de focalisation normale (gradient constant), la stabilité s'exprime par la condition $1 > n > 0$, où le paramètre n, qui caractérise la distribution du champ magnétique, est donné par la formule:

$$n = -(r/B)\ \partial B/\partial r,$$

où B représente l'intensité du champ magnétique et r le rayon de l'orbite. n est en général voisin de 0,6 pour les synchrotrons.

Les fréquences des oscillations associées aux forces de focalisation sont donnés par les formules

$$f_r = (1 - n)^{\frac{1}{2}} f_0 \quad \text{(fréquence radiale)}$$
$$f_v = n^{\frac{1}{2}} f_0 \quad \text{(fréquence axiale)}$$

où f_0 désigne la fréquence orbitale. Il est clair qu'il y a peu d'espoir de les modifier, et en augmentant l'une, on diminuera l'autre.

M. S. Livingston, E. D. Courant, et H. S. Snyder à Brookhaven, en même temps que Christophilos, travaillant indépendamment en Grèce, ont montré en 1952 que l'on peut arriver à un effet total de focalisation dans un système convenablement disposé qui est alternativement focalisant et défocalisant le long du trajet des particules. Avec $n >> 1$, en valeur numérique, mais alternativement positif (défocalisation radiale, focalisation axiale) et négatif (focalisation radiale, défocalisation axiale), on peut réaliser un synchrotron avec des forces de focalisation bien plus grandes vis-à-vis des déplacements dans les deux directions, donc avec des oscillations stables à fréquence plus élevée que dans le cas du synchrotron classique.

Les fréquences des oscillations bétatron sont désormais supérieures aux fréquences orbitales, et comme J. D. Lawson l'a fait remarquer le premier à Harwell, le mouvement des particules dans un synchrotron à gradient alterné est très sensible à de petits désalignements des sections individuelles, focalisantes ou défocalisantes, de l'aimant guide.

En particulier, des effets de résonance désastreux apparaissent si le nombre de cycles bétatron par révolution orbitale devient entier ou demi-entier, avec perte des particules sur les parois de la chambre à vide. Il faudra donc réduire les valeurs de n, au-dessous de ce que l'on escomptait (5000–10 000) pour laisser, pour ainsi dire, plus de marge de fonctionnement entre les résonances. On pense actuellement utiliser des chiffres de l'ordre de plusieurs centaines, pour les appareils de 20–30 GeV, mais cela permettra déjà une réduction considérable de l'ouverture de l'aimant, et l'économie correspondante en prix de revient. Bien d'autres problèmes se posent, en particulier pour le maintien de la stabilité des particules.

Le rayon de l'orbite de ces appareils sera voisin de 100 m, et les particules seront forcées de passer à travers une ouverture d'environ 7·12 cm pendant des milliers de révolutions. Il faudra réaliser des tolérances très étroites, aussi bien mécaniques et magnétiques que dans le repérage du temps, mais on pourra n'utiliser dans l'aimant qu'un poids total d'acier de 4000 tonnes environ pour une énergie de 25 GeV. Ce n'est que le double du poids utilisé pour le Cosmotron, dont la chambre à vide a une ouverture de 91·23 cm.

Avec cette même méthode de focalisation par gradient alterné, mais avec un champ nul sur un axe, on pourra essayer avec un espoir de succès raisonnable de focaliser le faisceau de protons d'un accélérateur linéaire sans pertes sérieuses de particules.

Quelques Expériences Caractéristiques avec les Accélérateurs à Grande Énergie

POLARISATION DES PROTONS

On pensait depuis longtemps observer des effets de polarisation lors de la diffusion de nucléons par d'autres nucléons isolés, par suite de l'existence de composantes non-centrales dans les forces entre nucléons, et on avait essayé de le prouver expérimentalement. On peut les mettre en évidence dans une expérience de «double diffusion», où les particules, diffusées dans une direction faisant un angle déterminé avec le faisceau primaire, traversent un second système diffusant. En cas de polarisation, le faisceau qui émerge de ce second système en faisant un angle constant avec le faisceau diffusé une fois aura une intensité différente, suivant qu'il aura été diffusé à droite ou à gauche. Dans les expériences de diffusion proton-proton, les particules bombardantes doivent être des protons, et, en principe, les deux corps diffusants devraient être de l'hydrogène. Mais l'emploi de l'hydrogène n'est pas commode, et on a pris l'habitude, à Rochester, d'utiliser des hydrocarbures. Une expérience consécutive avec le carbone pur permet de distinguer l'effet dû à l'hydrogène. On a ainsi mis en évidence une polarisation dans la diffusion proton-proton, mais on en a trouvé une bien plus considérable dans le carbone pur. Ce phénomène est associé au noyau dans sa totalité, et non aux nucléons individuels, et la polarisation la plus élevée semble se produire lors des collisions élastiques, donc lorsqu'il n'y a ni excitation, ni désintégration nucléaire.

On a beaucoup travaillé dans ce domaine depuis un an, et on a obtenu des résultats nouveaux à Rochester, Chicago et Berkeley aux Etats-Unis et à Harwell en Grande-Bretagne. On trouvera sur la Figure 1 un schéma du dispositif expérimental utilisé à Harwell. Les protons d'énergie maximum 160 MeV bombardent une cible T_1 dans la chambre à vide du synchrocyclotron; ceux qui sont diffusés sous un angle d'environ 20°, et dont l'énergie est de 135 MeV, échappent à l'aimant à travers un canal à écran magnétique C. Ces particules diffusées une fois traversent, dans un tube vide le mur de protection en ciment S, et des fentes collimatrices. Une deuxième diffusion a lieu sur la cible T_2, et les particules deux fois diffusées sont décelées par un système de compteurs D, arrangé en «télescope», et faisant un angle θ avec le faisceau diffusé une fois. On s'est arrangé pour que le faisceau primaire, et les faisceaux diffusés une et deux fois se trouvent tous dans le même plan. On peut faire tourner les compteurs de détection de 180° autour de l'axe du faisceau diffusé une fois, et les amener dans la position représentée en pointillés sur la figure 1. S'il y a polarisation, le nombre de particules comptées pour un bombardement identique dans les deux cas, ne sera pas le même dans ces deux positions. On fait naturellement des vérifications délicates, pour être sûr qu'un effet observé n'est pas dû à des erreurs dans l'alignement des appareils. Ce que l'on détermine est l'«asymétrie» définie comme

$$\varepsilon = \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}$$

ou N_1 désigne le nombre de particules diffusées dans la même direction que la première diffusion (même azimuth) et N_2 le nombre de particules diffusées dans la direction opposée (azimuth différent de 180°).

A partir de l'asymétrie mesurée, on peut facilement calculer la polarisation sous un angle

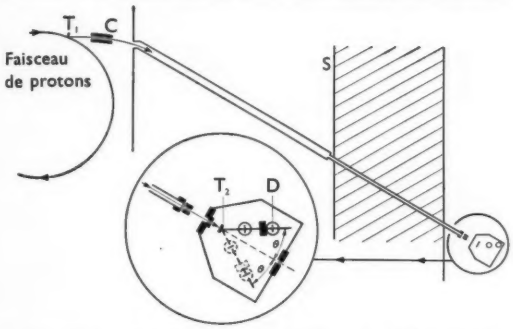


FIGURE 1 – *Schéma d'une expérience sur la polarisation des protons à grande énergie, avec le synchrocyclotron de Harwell.*

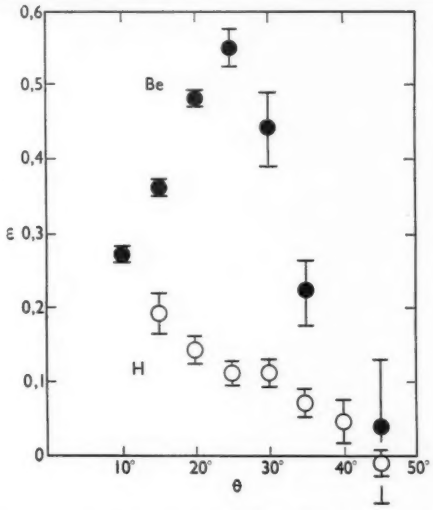


FIGURE 2 – *Variation de l'asymétrie observée ε avec l'angle de seconde diffusion dans les expériences de Harwell sur la polarisation des protons à grande énergie.*

particulier, pourvu qu'on soit sûr que le même processus unique intervient dans chaque diffusion et que les deux angles de diffusion sont les mêmes. Une proportion notable des travaux expérimentaux a consisté à chercher comment distinguer entre les différents types de diffusion qui interviennent lorsque des protons à grande énergie frappent une cible. Quoi qu'il en soit, si on obtient une valeur finie pour ε, il y a manifestement une polarisation. On trouvera sur la figure 2 les valeurs observées de ε en fonction de l'angle de seconde diffusion.

OBSERVATION DE PARTICULES INDIVIDUELLES

Il faut toujours utiliser, en plus des comptages, des moyens de détection qui rendent visibles les trajets des particules individuelles. Ces méthodes sont très laborieuses lorsqu'on désire des résultats statistiques comparables à ceux des compteurs, mais elles sont indispensables pour interpréter de nouveaux phénomènes, en particulier ceux où interviennent des particules «nouvelles». On peut rendre les trajectoires visibles dans les chambres à détente, et autres instruments analogues, et dans des émulsions photographiques spéciales.

Deux perfectionnements récents de la chambre de Wilson ont permis de l'utiliser beaucoup plus efficacement avec les accélérateurs. Dans l'appareil original, on amène à la sursaturation un mélange gaz-vapeur par une détente adiabatique contrôlée, et les trajectoires des particules ionisantes se révèlent par la formation de gouttelettes sur les ions. On photographie en général les trajectoires avec un appareil stéréoscopique, si bien qu'elles sont enregistrées dans trois dimensions. On peut faire des mesures de la quantité de mouvement en appliquant un champ magnétique pendant le passage des particules, et on peut observer des trajectoires issues de collisions nucléaires dans le gaz, la vapeur, ou des plaques de matériau solide introduits dans la chambre. Malgré tous les perfectionnements apportés à cette technique, surtout par les physiciens spécialisés dans les rayons cosmiques, elle entraîne plutôt un gaspillage du temps de fonctionnement des gros accélérateurs, parce qu'il s'écoule plus de temps entre les détentes, qu'entre les impulsions successives de l'accélérateur. Dans la chambre de Wilson à diffusion, proposée d'abord par A. Langsdorf, et mise au point ces dernières années principalement à Brookhaven, on peut maintenir dans un gaz une vapeur en état de sursaturation permanente au moyen d'un gradient thermique sur les murs du récipient. On a mis cette technique bien au point pour le travail avec l'hydrogène, sous une pression voisine de 20 atmosphères, dans des récipients larges de plus d'un mètre; une chambre de ce type peut recevoir des impulsions, au rythme normal de 10 par minute, fournies, par exemple, par le Cosmotron. L'hydrogène joue évidemment un rôle particulièrement important dans l'étude des phénomènes nucléaires élémentaires, et lorsqu'on étudie des événements rares, il est important de pouvoir observer une particule qui traverse une grande masse de matière. Une pression élevée, et une chambre de grande dimension sont donc essentielles. La Figure 9 est la photographie des trajectoires de protons de 150 MeV du synchrocyclotron de Harwell, dans une chambre de Wilson à diffusion.

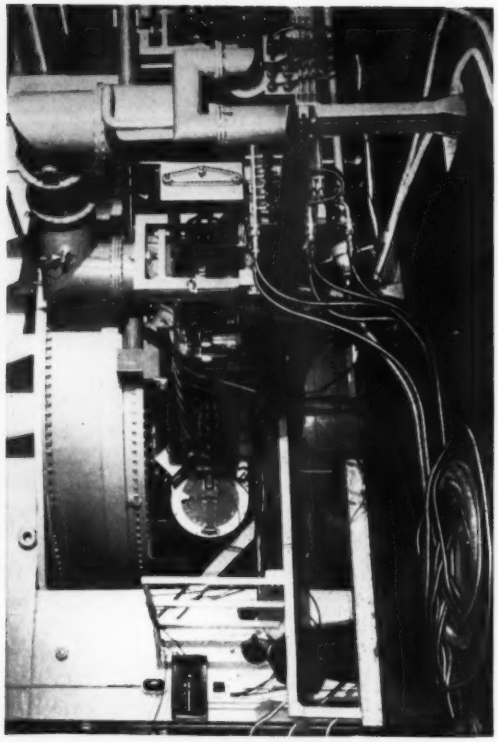


FIGURE 4 – *Le synchrocyclotron de 2,8 m de Harwell.*

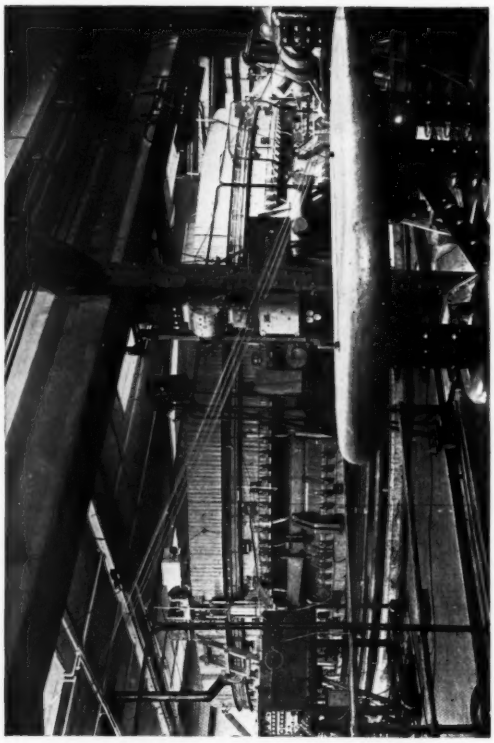


FIGURE 6 – *Le synchrotron à protons de Birmingham.*

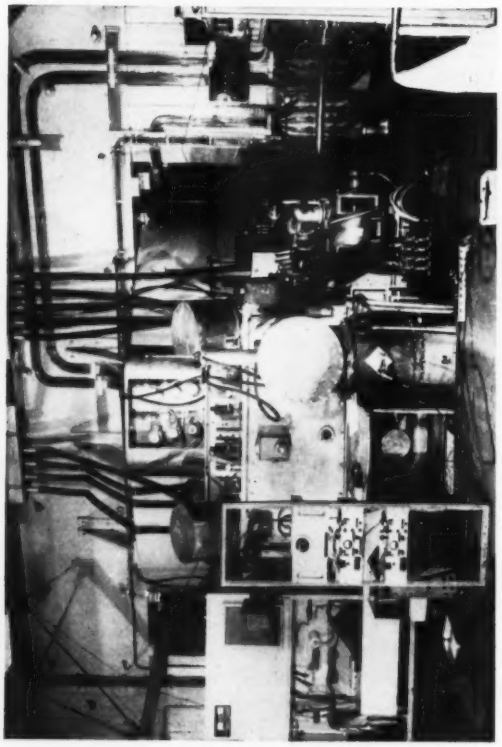


FIGURE 3 – *Le synchrocyclotron de Liverpool de 4 m.*

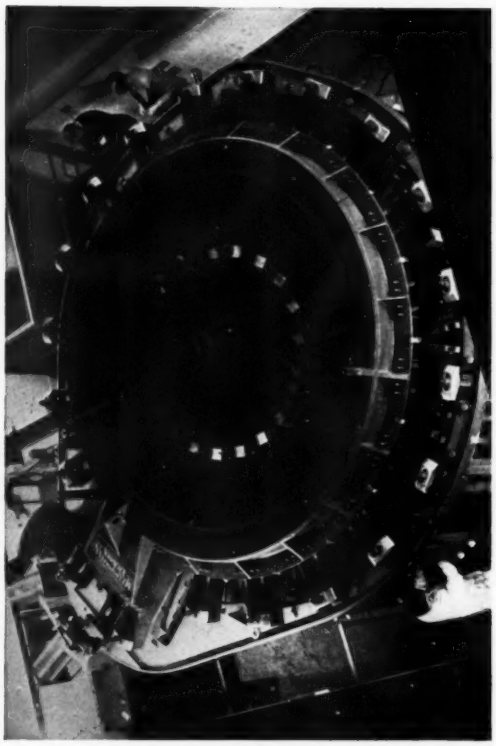


FIGURE 5 – *Le synchrotron à électrons de Glasgow.*

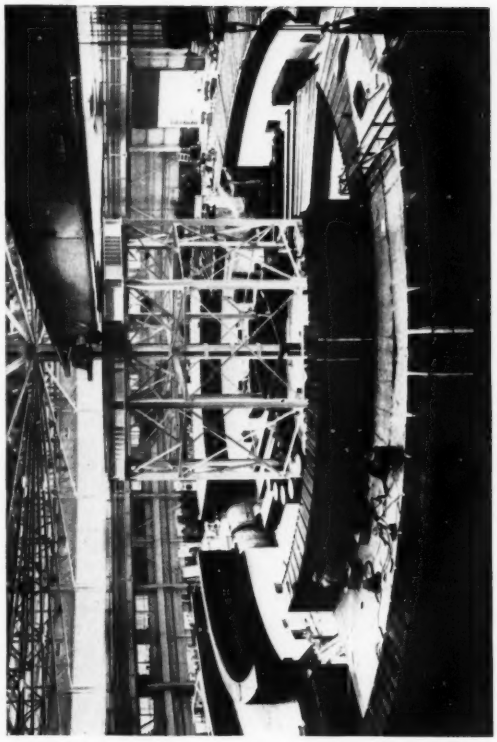


FIGURE 8 – *Le synchrotron à protons de Berkeley (Bevatron), en construction.*

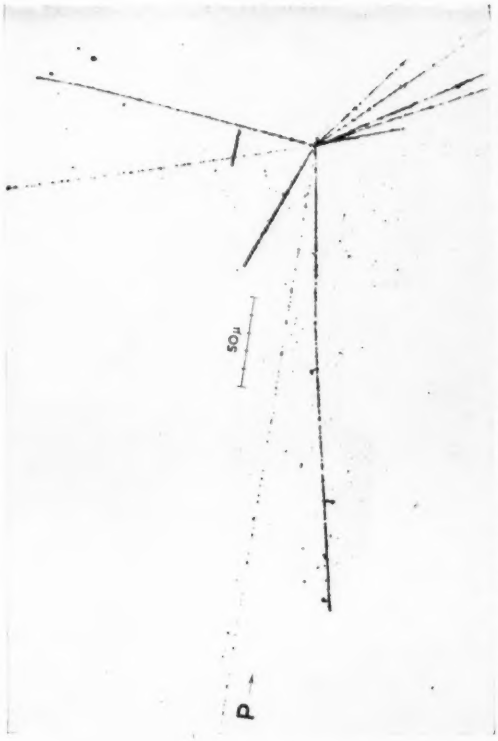


FIGURE 10 – *Désintégration nucléaire provoquée par un proton de 1 GeV — trajectoires observées dans une émulsion nucléaire exposée au faisceau du synchrotron à protons.*

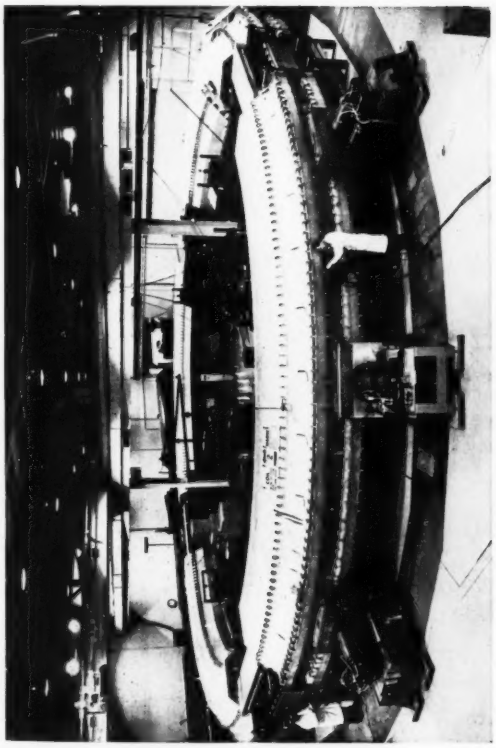


FIGURE 7 – *Le synchrotron à protons de Brookhaven (Cosmotron).*

FIGURE 9 – *Trajectoire observée dans une chambre de Wilson à diffusion irradiée par des protons de 150 MeV.*

Le deuxième développement dans ce domaine est tout récent. Des physiciens à Brookhaven, Chicago, et Berkeley ont mis au point la «chambre à bulles»: ce sont cette fois des bulles de vapeur qui se forment, le long de la trajectoire d'une particule ionisante, au sein d'un liquide surchauffé. On réalise la surchauffe en réduisant la pression d'une façon soigneusement contrôlée et minutée. On a eu des résultats excellents avec le pentane liquide, et quelques succès moindres avec l'hydrogène liquide. Jusqu'à présent, les plus grosses chambres ont à peine quelques centimètres de large, mais l'emploi de matière à haute densité constitue un avantage énorme avec les particules à grande énergie.

En utilisant les émulsions nucléaires, on travaille dans un milieu à densité élevée, mais ce milieu se compose essentiellement d'argent et de brome, avec du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène si bien que c'est une technique qui manque de souplesse. C'est au groupe de Powell, à Bristol, que l'on doit les développements les plus récents, destinés aussi bien à l'étude des rayons cosmiques qu'aux travaux avec les accélérateurs.

On voit sur la Figure 10 une «étoile» observée dans une émulsion nucléaire exposée au faisceau du synchrotron à protons de Birmingham. Un noyau d'un des constituants de l'émulsion a été excité par le choc d'une particule primaire énergique (un proton de 1 GeV) et l'énergie d'excitation a suffi pour briser le noyau en plusieurs fragments, qui se sont dispersés avec une vitesse considérable. Ces neuf fragments chargés ont laissé des traces visibles au microscope après le développement de l'émulsion. Les particules non-chargées ne laissent pas de traces dans l'émulsion. Il est pourtant pratiquement certain qu'il s'en produit au cours d'une désintégration de cet ordre.

Le groupe de chercheurs qui utilisent le Cosmotron, à Brookhaven, a pu démontrer qu'il était possible de produire artificiellement certaines des particules nouvellement identifiées dans les rayons cosmiques, en utilisant à la fois les chambres à détente et les émulsions photographiques. Ils ont observé fréquemment la présence de particules Λ^0 et θ^0 dans la chambre à détente à diffusion, et dans certaines de leurs photographies on voit les produits de désintégration de deux particules, probablement produites simultanément, l'une de type Λ^0, l'autre de type θ^0. Les premières sont un peu plus lourdes que les protons, sont neutres, et se désintègrent en donnant un proton et un méson π négatif. La masse des particules θ^0 est environ mille fois celle de l'électron, elles sont également neutres, et se désintègrent en donnant un méson π positif et un méson π négatif. On a provoqué cette double réaction en exposant une chambre à diffusion, remplie d'hydrogène, au faisceau de mésons π négatifs de 1 GeV, émergeant d'une cible bombardée par les protons du Cosmotron. On suppose qu'il y a eu la réaction suivante:

$$\begin{array}{ccccc} \pi^- + p \rightarrow & \Lambda^0 & + & \theta^0 \\ & \downarrow & & \downarrow \\ & p + \pi^- & & \pi^+ + \pi^- \end{array}$$

L'étude des photographies permet d'identifier les quatre produits de désintégration.

On a découvert dans les rayons cosmiques une grande famille de «mésons lourds» appelés collectivement mésons K. La particule θ^0 en est un représentant neutre, mais on pense qu'il en existe aussi plusieurs variétés chargées, dont les masses sont environ mille fois celles de l'électron. On a déjà observé plusieurs types de mésons K chargés dans les émulsions nucléaires exposées au faisceau du Cosmotron.

Nos connaissances sur ces particules nouvelles sont encore très embrouillées, mais leurs propriétés et leur mode de formation se clarifieront rapidement en utilisant les gros accélérateurs. Jusqu'à présent, ce n'est que dans l'étude des rayons cosmiques qu'on a découvert des particules instables, sauf dans le cas du méson π^0 (que le groupe de Powell a bien failli découvrir!), mais les faisceaux plus intenses que donnent les gros accélérateurs sont indispensables pour étudier leur production, leurs propriétés, et leurs interactions avec d'autres particules.

BIBLIOGRAPHIE

CHU, E. L. et SCHIFF, L. I. Recent Progress in Accelerators, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, **2**, 79, 1953.

FREMLIN, J. H. et GOODEN, J. S. Cyclic Accelerators, *Rep. Progr. Phys.*, **13**, 295, 1950.

FRY, D. W. et WALKINSHAW, W. Linear Accelerators, *ibid.*, **12**, 102, 1948–9.

LIVINGSTON, M. S. High Energy Accelerators, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, **1**, 157, 1952.

Idem. «High Energy Accelerators», Interscience Publishers Inc., New York. 1954.

PICKAVANCE, T. G. «Cyclotrons», Chapitre 1 du «Progress in Nuclear Physics», édité par O. R. Frisch. Vol. 1. Butterworths Scientific Publications Limited, Londres. 1950.

Articles sur tous les aspects du Cosmotron, par les chercheurs de Brookhaven. *Rev. Sci. Instrum.*, **24**, 825, 1953.

Détermination de la configuration absolue des antipodes optiques

par J. M. BIJVOET

Ni les méthodes chimiques ni celle de la diffraction normale des rayons X ne permettent de distinguer l'un de l'autre des antipodes optiques, c'est-à-dire des structures dont l'une est l'image de l'autre vue dans un miroir. Cependant, lorsque la fréquence des rayons X est telle qu'ils sont tout juste capables d'exciter les électrons K d'un seul des éléments du composé, il se produit dans les rayons diffractés une différence de phase anormale, qui permet de déterminer la configuration absolue. Cette méthode est exposée ici, et illustrée par comparaison avec un système mécanique.

Il y a deux manières entièrement différentes de déterminer les positions relatives des atomes dans une grosse molécule organique. La méthode chimique consiste à briser la molécule en fragments, plus petits, dont la structure a déjà été élucidée de façon similaire. On a ainsi déterminé la disposition des atomes dans des centaines de milliers de composés, des plus simples aux plus compliqués, comme certains alcaloïdes et certaines hormones, et c'est là un des plus beaux résultats de la science. C'est le concept du carbone tétrahédrique, dû à Van 't Hoff qui a permis de représenter la disposition spatiale au moyen des formules de structure.

La deuxième méthode n'est pas destructrice: c'est l'analyse aux rayons X. On expose un gaz ou un cristal aux rayons X, et on enregistre les figures de diffraction correspondantes. Chaque atome diffracte uniformément les rayons incidents dans toutes les directions, et les ondes diffractées par les différents atomes d'une molécule ou d'un cristal interfèrent entre elles. A chaque direction de diffraction correspond une certaine différence de marche entre les ondes issues des différents atomes. C'est de ces différences de marche (et de phase) que dépendent l'interaction entre les ondes, et l'intensité résultante dans chaque direction. Comme ces différences de marche dépendent elles-mêmes de l'importance et de l'orientation des distances interatomiques, on peut déduire par le calcul du spectre de rayons X, la disposition des atomes.

On ne peut que se réjouir de voir que ces deux méthodes entièrement différentes conduisent essentiellement aux mêmes résultats. L'analyse aux rayons X permet de construire un modèle à l'échelle, géométriquement exact, où l'on peut donner les distances interatomiques avec une précision voisine du centième d'ångström. Différente en ceci de la méthode chimique, la diffraction des rayons X permet, dans les cas favorables, l'étude d'un composé arbitraire, sans aucune connaissance des composés voisins. Par exemple, l'un des hexachlorures de benzène, le gammexane, est devenu brusquement important comme insecticide: sa structure a pu être élucidée directement par les rayons X. On y est également arrivé récemment par voie chimique, mais seulemente au prix d'une étude détaillée des divers stéréo-isomères, ainsi que d'un certain nombre d'hepta- et d'octachlorhexaméthylènes. Ainsi la structure moléculaire peut être connue dans ses moindres détails, soit par des procédés chimiques, soit par les rayons X: il est d'autant plus surprenant que ni l'une ni l'autre de ces méthodes ne permette de résoudre le problème qui fait l'objet de cet article.

On sait que certains composés cristallisés en solution font tourner le plan de polarisation de la lumière. Ces composés se présentent sous deux formes, dont l'une fait tourner le plan de polarisation vers la droite (pouvoir rotatoire positif) et l'autre vers la gauche (pouvoir rotatoire négatif). On indique ceci par les notations (+) et (−), respectivement, avant le nom du composé. Comme cas classiques, il y a les acides (+)tartrique et (−)tartrique, le (+)quartz et le (−)quartz. Ni les cristaux, ni les molécules de ces isomères optiques ne sont superposables; ils sont comme un corps et son image dans un miroir. On en voit un exemple sur la figure 1. Le premier modèle s'appelle D, le second L.

Nous avons vu que l'on peut déterminer la structure moléculaire de tous les composés optiquement actifs, mais, chose surprenante, nous ne

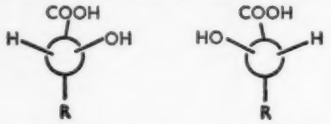


FIGURE 1 – *Par convention, on met le préfixe* D *aux acides α-substitués, si le groupement en α est dirigé vers la droite quand le —COOH est en haut, et que —COOH et —R vont vers l'arrière.*

pouvons dire lequel de ces deux modèles, D ou L, correspond à l'antipode dextrogyre, et lequel correspond à l'antipode lévogyre. Avant d'aborder ce problème voyons dans quelles conditions il s'est posé en chimie.

CHIMIE ET CONFIGURATION ABSOLUE

La chimie détermine le comportement relatif des composés, c'est-à-dire les relations entre différentes structures. Par suite, on ne peut déceler par une méthode chimique les transformations qui se produiraient si tous les antipodes optiques avaient la configuration opposée. On peut cependant déterminer les configurations relatives de composés optiquement actifs voisins. C'est ainsi que nous pouvons savoir si c'est dans la (−)alanine ou la (+)alanine

$$(CH_3—CHNH_2—COOH)$$

que se retrouve la disposition particulière des quatre groupements qui entourent le carbone asymétrique de l'acide (+)lactique

$$CH_3—CHOH—COOH.$$

Il se trouve que la substitution directe de —OH ou $—NH_2$ sur l'atome asymétrique peut s'accompagner d'une inversion de configuration (inversion de Walden). Une relation générique ne permet donc pas de conclure définitivement en faveur d'une configuration relative. On y arrive en effectuant la même transformation chimique sur l'un des substituants lié au carbone asymétrique.

On peut s'attendre à ce que ce type de substitution entraîne des changements analogues de pouvoir rotatoire pour les configurations correspondantes. Le tableau I montre que la (+)alanine a la même configuration que l'acide (+)lactique. On a ainsi établi une relation entre la configuration des acides aminés et celle des acides-alcools.[1]

TABLEAU I

Dérivé	(+) *acide lactique*	(+) *alanine*	(−) *alanine*
Amide du dérivé benzoylé	+ 120°	+ 70°	− 70°
Ester éthylique du dérivé benzoylé	+ 49°	+ 12°	− 12°
Ester méthylique du dérivé benzoylé	+ 35°	+ 4°	− 4°
Ester éthylique du dérivé acétylé	− 76°	− 74°	+ 74°
Ester éthylique du paratoluènesulfonate	− 129°	− 78°	+ 78°

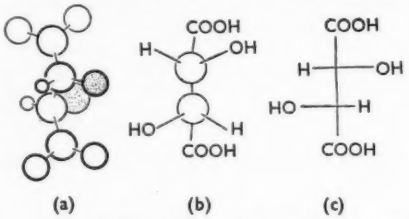


FIGURE 2 – *Configuration absolue de l'acide tartrique naturel dextrogyre;* (a) *telle que la donne l'étude aux rayons X du tartrate de sodium et de rubidium;* (b) *en configuration normalisée par rotation autour des liaisons simples;* (c) *en projection.*

On sait que ces configurations relatives jouent un grand rôle dans les réactions entre composés actifs. Pour exprimer plus facilement ces relations, Emile Fischer a attribué arbitrairement la configuration représentée sur la figure 2(*b*) à un composé, l'acide tartrique naturel dextrogyre. Il avait une chance sur deux de se tromper.

Peut-être que la seule chose importante en chimie est la connaissance de ces configurations relatives et non le choix correct de la configuration absolue. Pourtant, les avantages d'une connaissance effective des configurations absolues ne se limitent pas à une satisfaction scientifique, ni à la simplification didactique qu'entraîne le passage de la convention à la réalité dans la détermination des structures et la nomenclature. Une méthode directe pour déterminer les configurations absolues a une importance pratique lorsqu'on a du mal à établir ou confirmer les configurations relatives par des méthodes chimiques. Par exemple, nous ne pouvons jamais savoir exactement si la substitution d'un groupement porté par un carbone asymétrique s'accompagne ou non d'une inversion de configuration (inversion de Walden).

POUVOIR ROTATOIRE ET CONFIGURATION ABSOLUE

On pensera tout de suite que la configuration

[1] On peut relier directement deux composés appartenant à des séries optiquement actives différentes en réunissant leurs atomes asymétriques en une seule molécule. Ainsi on a démontré que les groupements —OH et —COOH de l'hydroxyproline sont en *trans* l'un par rapport à l'autre; les rayons X le prouvent définitivement. Ceci fixe également la relation entre les acides α-alcools et α-aminés.

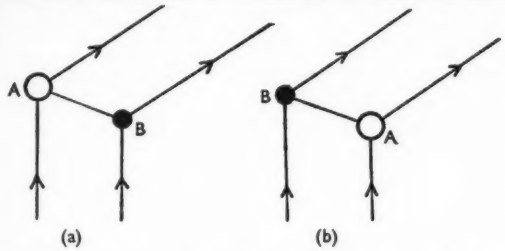


FIGURE 3 – *Diffraction par une molécule AB et par la configuration opposée BA.*

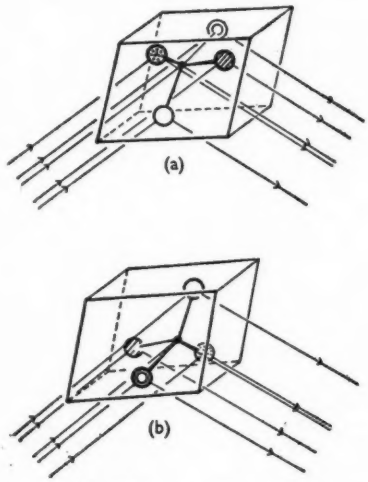


FIGURE 4 – *Diffraction par une molécule asymétrique (cf. figure 1).*

absolue doit pouvoir se déduire physiquement du calcul théorique de l'angle de rotation du plan de polarisation de la lumière.[2] On part de l'une des images symétriques et on essaie de déterminer par le calcul le signe du pouvoir rotatoire correspondant. Un certain nombre de théoriciens, surtout entre 1935 et 1940 ont ainsi calculé des pouvoirs rotatoires en s'appuyant sur un certain nombre de théories [1, 2]. Cependant, on ne connaissait pas alors assez bien les détails de la structure atomique, et les résultats n'étaient pas concordants. Parfois même, par exemple dans le cas du méthyléthylcarbinol, on est arrivé à des résultats de signes différents [3].

Ces dernières années, on a fait des calculs auxquels on peut sans doute accorder plus de confiance: certains portent sur deux ou plusieurs composés reliés entre eux [4]. Les résultats s'accordent avec ceux de Kuhn, et confirment la convention arbitraire de Fischer.

On a également fait des calculs à propos des cristaux. Il semble raisonnable d'admettre qu'une structure cristalline en hélice à droite caractérisée correspond à une rotation vers la droite, en observant dans la direction de propagation de la lumière [5].

DIFFRACTION NORMALE DES RAYONS X ET CONFIGURATION ABSOLUE

Si l'on veut utiliser les rayons X pour déterminer une configuration absolue, on se heurte essentiellement à une difficulté expliquée par les figures 3, 4 et 5. La figure 3(*a*) montre la diffraction des rayons X par une molécule AB, et 3(*b*) la diffraction résultant de la configuration opposée BA, où seul a changé le sens de la ligne AB.

En 3(*a*) les rayons diffractés par l'atome A font le trajet le moins long, en 3(*b*) le trajet le plus long. Mais en valeur absolue, la différence de marche entre les rayons diffractés par A et B n'est pas modifiée. L'intensité résultante ne l'est donc pas non plus. Comme ceci est valable pour n'importe quelle direction de diffraction, il est impossible de distinguer entre ces deux cas par l'analyse simple aux rayons X.

Ceci est encore valable dans tout cas d'inversion. On peut en stéréochimie, inverser le sens d'une structure en reliant chacun de ses points P à un centre arbitraire O, et en prolongeant PO d'une longueur égale jusqu'en P′. L'ensemble des points P′ donne une image inversée. Comme sur la figure 3, la ligne qui relie deux points ne fait que changer de sens. Par inversion de structure, on inverse exactement la différence de phase pour chaque couple d'atomes; par suite, leur contribution aux interférences, et à l'intensité de diffraction n'est pas modifiée.

Une série donnée d'intensités peut correspondre, soit à une structure (*a*) soit à la structure inversée (*b*). On ne peut donc distinguer entre structures inversées par l'analyse simple aux rayons X. Dans le cas d'antipodes optiques, la structure inversée est, comme le montre la figure 5, l'autre antipode dans une position particulière; l'analyse simple aux rayons X ne permet donc pas de distinguer entre deux antipodes optiques.

DIFFRACTION ANORMALE

Il est curieux de constater qu'une de nos hypothèses a déjà fait l'objet de discussions dans la

[2] Une autre méthode évidente consiste à examiner le développement des faces d'un cristal d'un antipode, pour voir s'il s'accorde plus avec une configuration qu'avec l'autre. Toutefois il est très difficile de relier ces deux choses et cela n'a conduit à aucun résultat sûr.

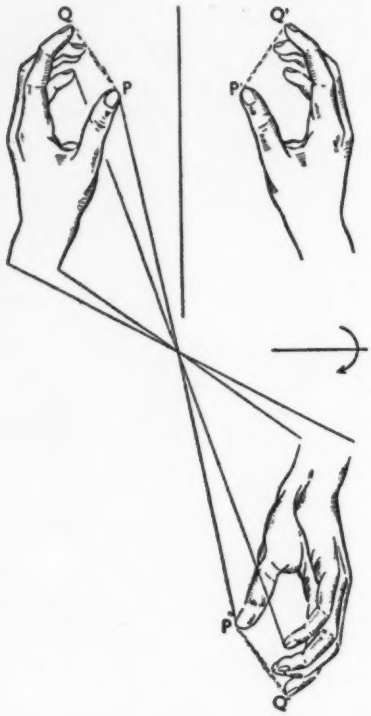


FIGURE 5 – *L'inversion est équivalente à une réflexion associée à une rotation de 180° autour d'un axe normal au plan de réflexion. Ceci fait passer à l'antipode opposé.*

période héroïque des rayons X et qu'on ne l'a pas trouvée universellement vraie: on admet que la différence de phase entre les ondes provenant de deux atomes dépend seulement d'une différence de trajet, la nature de l'atome n'intervenant en aucune façon [6]. Il s'agit de savoir s'il y a ou non un changement de phase sur l'atome diffractant entre les rayonnements incidents et diffractés (normalement ou dans certaines conditions) et dans quelle mesure ce changement de phase, équivalent à une réduction apparente du trajet réel, peut modifier les considérations déjà exposées. Dans les différences de phase mutuelles entre les ondes diffractées par les divers atomes, ce changement de phase disparaît dans la mesure où il est le même pour tous les atomes, c'est-à-dire, dans la mesure où la nature de l'atome n'intervient pas. Ceci semble être la règle dans les conditions «normales», mais n'a pas une validité universelle.

Ce sont les électrons de l'atome qui vibrent et rayonnent sous l'effet des rayons X incidents. Si on peut les considérer comme faiblement liés, ils vibrent en opposition de phase avec les rayons incidents, parce que l'accélération est en phase avec la force électrique, mais l'accélération et la déflexion d'une vibration sont en opposition de phase. Il n'y a que dans les atomes lourds que les électrons fortement liés de la couche intérieure (électrons K) vibrent en concordance de phase avec l'onde incidente, parce que la force électrique doit, à tout moment, compenser exactement la force de liaison. Cette discordance interne entre la diffraction par la couche K et par les autres électrons ne change en rien notre démonstration; elle ne fait que changer dans une certaine mesure l'intensité du pouvoir diffractant de l'atome.

Déjà en 1916, von Laue [7] a suggéré qu'il serait intéressant, notamment en ce qui concerne les cristaux de forte absorption, de faire une expérience pour voir si on pourrait constater une exception dans les cas où la fréquence des radiations incidentes est voisine de la fréquence propre des atomes.

Essayons une analogie; soit un pendule qui communique par couplage sa vibration à un autre (figure 6). Si celui-ci a une fréquence propre plus basse — comme le pendule B, plus long, lié d'une façon plus lâche — il se met à osciller en opposition de phase. S'il a une fréquence propre plus élevée — comme le pendule C plus court, lié plus rigidement — il se met à osciller en phase. On a donc là une image fidèle de la vibration des rayons X, représentée par A faisant résonner un électron lié de façon lâche ou un électron lié de façon rigide.

Supposons que la fréquence de la vibration d'excitation, d'abord élevée, baisse progressivement. Dans le cas du pendule, la vibration communiquée subit la variation de phase de 180° exactement au point où la fréquence de la vibration incidente passe par la fréquence propre du pendule. Dans le cas de l'atome, il y a une légère différence. Là aussi, une radiation incidente de haute fréquence fait vibrer tous les électrons en opposition de phase. Si la fréquence décroît, elle devient voisine des fréquences propres des électrons K. Mais dans un atome, il n'y a pas qu'une seule fréquence de liaison des électrons. Il y en a toute une série, correspondant à l'excitation et au passage des électrons sur les orbites possibles. Lorsque la fréquence du faisceau de rayons X s'approche de cette zone, et la traverse, on peut s'attendre à une variation progressive de la phase de l'électron K en vibration, ce que la mécanique quantique a ensuite confirmé.

Ce sont ces changements de phase, qui ne sont égaux ni à π ni à 0, dont avait parlé von Laue, qui

permettent la détermination des configurations absolues aux rayons X.

DIFFRACTION ANORMALE—LOI DE FRIEDEL

Ce n'est qu'en 1930 qu'on a essayé l'expérience suggérée par von Laue. On voulait vérifier la «loi de Friedel» qui exprime l'équivalence des réflexions et contre-réflexions, aux faces diamétralement opposées d'un cristal (figure 7). Leur équivalence résulte naturellement de considérations de symétrie, si, comme dans la figure 7(*b*), il n'y a pas de différences dans la succession des plans, de haut en bas ou de bas en haut. Dans le cas d'une succession polaire (figure 7(*a*)), il n'y a pas de considérations de symétrie qui s'oppose à une non-équivalence de la réflexion et de la contre-réflexion A'.

Il est vrai que Friedel avait dit d'abord que «les deux rayons A et A', identiques par symétrie dans le cas de l'holohédrie, restent forcément identiques par symétrie dans le cas de l'hémihédrie». On devait bientôt montrer que ce «forcément» était mal fondé.

Coster, Knol et Prins [8] ont mesuré l'intensité des réflexions en A et A' dans un cas analogue à celui de la figure 7(*a*), où l'on a représenté un cristal de blende, avec ses plans tétrahédraux occupés alternativement par des atomes de soufre et de zinc. La distance, entre les plans S et Zn consécutifs est égale au quart d'une période ZnS—ZnS. Dans la «réflexion du premier ordre», la différence de marche entre les rayons réfléchis par les plans zinc consécutifs est λ, et celle entre les rayons réfléchis par les plans Zn et S consécutifs, $\lambda/4$.

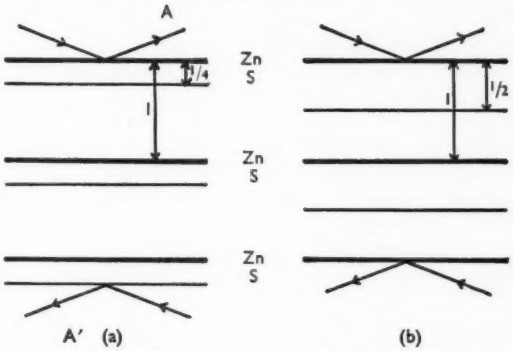


FIGURE 7 – *Réflexion et contre-réflexion d'une succession (a) polaire et (b) non-polaire des plans d'un cristal.*

Pour un rayonnement de longueur d'onde arbitraire, la différence des changements de phase est la même sur un atome de zinc que sur un atome de soufre. Par suite, dans la réflexion A, l'onde réfléchie par le plan zinc a une avance de 90° sur l'onde réfléchie par le plan soufre, tandis qu'en A', elle est en retard de 90° sur cette dernière. La composition des deux ondes conduit à la même intensité résultante, malgré la succession polaire, qui, là encore, n'agit que sur le signe des différences de phase. La réflexion normale des rayons X ne décèle aucune différence entre un de ces plans, qui est terne et mal développé, et l'autre, qui est brillant et bien développé. A ce point de vue, elle est moins sensible que l'œil humain.

Mais Coster a utilisé une radiation — le rayonnement $L\alpha_1$ de l'or — qui excite précisément les électrons K du zinc. Dans cette diffraction anormale, l'onde diffractée par l'atome de zinc est en avance de phase sur l'onde diffractée par l'atome de soufre. Supposons que l'avance soit de l'ordre de 10°; c'est ce que la théorie permet à peu près de prévoir.

Dans le cas de la réflexion A, la différence de phase totale active pour les interférences est alors $90° + 10° = 100°$, au lieu de 90°. Dans le cas A', c'est $-90° + 10° = -80°$. En A, la combinaison amène un retard dans la direction de réflexion normale (180°), tandis qu'en A', il est dans la direction opposée (0°). A doit donc avoir une intensité moindre que A'. Coster et ses collaborateurs ont réussi à mettre cette différence en évidence.

Mais l'analyse aux rayons X ne se borne pas à

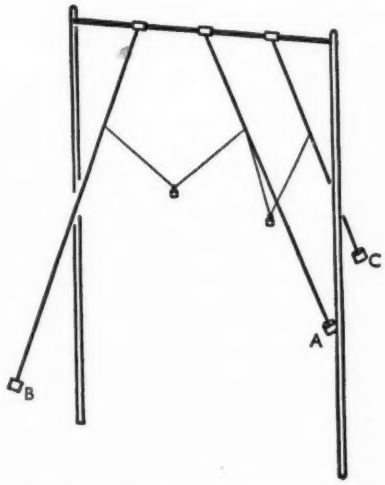


FIGURE 6 – *Le pendule A excite les pendules B, plus long et C, plus court. B oscille en opposition, C en concordance de phase.*

noter une différence: elle conclut — ce dont l'œil serait bien incapable — que c'est le plan terne où se trouve le zinc. C'est sur celui-ci que se produit la réflexion la moins intense, et, comme on l'a montré sur la figure 7(*a*), c'est la disposition A qui correspond à cet état de choses.

Donc la loi de Friedel n'est pas valable, et on peut savoir si l'on examine un cristal dans la direction ZnS—ZnS ou dans la direction SZn—SZn. On dira d'une façon générale que l'on peut déterminer la polarité d'une succession d'atomes à l'aide de la diffraction anormale.

Nous avons déjà mentionné que dans la diffraction normale les rayons X ne permettent pas de distinguer entre les antipodes droits et gauches. A ce point de vue, ils sont inférieurs à l'œil humain. Mais nous allons voir que la diffraction anormale permet même d'assigner aux antipodes leur configuration absolue.

DIFFRACTION ANORMALE ET CONFIGURATION ABSOLUE

De 1930 à 1950, tout en sachant bien que la loi de Friedel ne s'applique pas dans le cas de la diffraction anormale, on continuait à penser qu'il est essentiellement impossible de déterminer des configurations absolues par les rayons X.

La figure 8(*a* et *b*), montre bien que le problème est le même que celui de la figure 7(*a*). Dans les deux cas, il y a une succession polaire analogue des plans atomiques. C'est le sens de cette succession qu'il faut déterminer.

Qu'il s'agisse ou non d'une structure superposable à elle-même par inversion — cas du ZnS et identification des antipodes respectivement — cela n'a pas d'importance. Si les antipodes sont en position inversée les réflexions ont des intensités inégales — et on peut distinguer les structures — si dans la différence de phase entre deux atomes,

$$(\varphi_B - \varphi_A)_{\textit{total}} = (\varphi_B - \varphi_A)_{\textit{différence de marche}} + (\varphi_B - \varphi_A)_{\textit{processus de diffraction primaire,}}$$

le deuxième terme n'est pas nul (diffraction anormale).

Supposons que l'on ait déterminé de la façon normale la structure d'un composé actif. Cette structure est parfaitement connue à une inversion près. Par le calcul, on peut savoir pour laquelle des deux configurations (dextro ou lévo) on observera un accroissement d'intensité pour une certaine réflexion, et pour laquelle on observera une diminution, en utilisant une radiation juste capable d'exciter un des atomes. En mesurant cette réflexion anormale sur l'un des antipodes, on peut décider sans ambigüité de la configuration.

On comprendra aisément que l'intensité de la lumière réfléchie reste inchangée si on change à la fois la structure et la direction des rayons X ($I_b = I_c$, figure 8). Au lieu de comparer la même réflexion sur deux antipodes (figure 8$a \rightarrow b$), on compare en fait les intensités anormales de réflexion et contre-réflexion sur un antipode ($a \rightarrow c$). Ce type de mesure ne nécessite qu'un antipode, et il est plus précis, parce qu'on le fait avec un seul cristal sur un seul film.

Chose curieuse, on n'a remarqué que ce problème du ZnS était en fait celui d'une configuration absolue que lorsque ceci s'est révélé d'une façon frappante, c'est-à-dire dans l'analyse par la méthode de Fourier d'un composé actif. On distingue alors les énantiomorphes d'après la localisation des maxima des ondes de densité à droite ou à gauche de l'origine. Cette ambigüité dans la localisation des plans de densité rappelle immédiatement le cas de la figure 7(*a*).

On trouvera sur le tableau II les résultats obtenus en diffraction anormale dans le cas du tartrate de sodium et de rubidium (dihydrate: $NaRbC_4H_4O_6.2H_2O$), où l'atome de rubidium est excité par la radiation K de Zr.

TABLEAU II

Intensités calculées des diffractions normales et anormales (Tartrate RbH)

Indices des plans de réflexion	*Intensités calculées*		
	Modèle D *Diffraction anormale*	*Diffraction normale*	*Modèle* L *Diffraction anormale*
113	281	313	351
114	412	385	369
123	371	420	482
124	226	217	212
125	63	55	52
126	159	152	147
135	227	250	278
141	239	223	209
143	188	165	149
146	80	82	93
151	359	333	316

On trouvera sur le Tableau III les composés dont nous avons déjà déterminé les configurations absolues. On a obtenu la radiation caractéristique au moyen d'un tube avec une anode spéciale (Zr, U). Mais, récemment, on a pu obtenir la radiation ayant la bonne longueur d'onde à partir du rayonnement continu d'un tube à rayons X

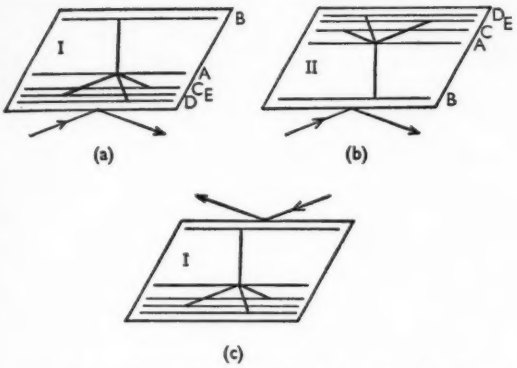


FIGURE 8 – (a) *et* (b) *ont le même sens qu'en* 4; *par chaque atome on fait passer un plan parallèle au plan de réflexion. En* (b) *l'ordre des plans DECAB est opposé par rapport à* (a); (c) *est la contre-réflexion de* (a).

normal [10]. C'est le plan réflecteur qui sélectionne la longueur d'onde voulue. Ceci nous permet de nous approcher autant que nous le voulons de la limite d'absorption de n'importe quel atome.

TABLEAU III

Composé	*Atome excité*	*Radiation utilisée*
Tartrate NaRb, $2H_2O$ [11] ..	Rb	ZrKα
Tartrate RbH [12]	Rb	ZrKα
*Iso*leucine, HBr, $2H_2O$ [13] ..	Br	UL
$2[CoEn_3]Cl_3.NaCl.6H_2O$ [14]	Co	CuKα

Ainsi, l'acide tartrique dextrogyre possède la configuration de la figure 2. La convention de Fischer correspond donc à la réalité.

BIBLIOGRAPHIE

[1] KUHN, W. *Z. phys. Chem.*, B, **31**, 23, 1935. *Idem. Z. Elektrochem.*, **56**, 506, 1952.

[2] GORIN, E., WALTER, J., et EYRING, H. *J. chem. Phys.*, **6**, 824, 1928.

[3] MATHIEU, J. P.: «Les théories moléculaires du pouvoir rotatoire naturel». Librairie Gauthier-Villars, Paris. 1946.

[4] KIRKWOOD, J. G. *J. chem. Phys.*, **20**, 561, 1952. LOOYENGA, H. Thèse (Leyde), à être publiée prochainement.

[5] WOOSTER, W. A. *Rep. Progr. Phys.*, **16**, 67, 1953.

[6] BRAGG, W. L. *Phys. Z.*, **15**, 77, 1914.

[7] VON LAUE, M. *Ann. Phys., Lpz.*, **50**, 433, 1916.

[8] COSTER, D., KNOL, K. S., et PRINS, J. *Z. Phys.*, **63**, 345, 1930.

[9] BIJVOET, J. M. *Nature, Lond.*, **173**, 888, 1954.

[10] GRENVILLE-WELLS, H. J. et LONSDALE, K. *Ibid.*, **173**, 1145, 1954.

[11] PEERDEMAN, A. F., VAN BOMMEL, A. J., et BIJVOET, J. M. *Proc. Acad. Sci. Amst.*, **B54**, 16, 1951.

[12] VAN BOMMEL, A. J. *Ibid.*, **56**, 268, 1953.

[13] TROMMEL, J. et BIJVOET, J. M. *Acta Cryst., Camb.*, **7**, 703, 1954.

[14] SAITO, Y., NAKATSU, K., SHIRO, M., et KUROYA, H.: «Résumés des communications du troisième Congrès International de l'Union Internationale de Cristallographie.»

Les changements de couleur des céphalopodes

par WILLIAM HOLMES

Lorsque les céphalopodes, au cours de leur évolution, eurent perdu leur coquille protectrice, ils acquirent, comme dispositif de protection, la faculté de changer rapidement leur coloration. Ces changements résultent de la contraction ou la dilatation des chromatophores, lesquels sont sous la dépendance du système nerveux. Une étude plus poussée de ce phénomène pourrait aider à résoudre le problème de la corrélation entre l'organisation du tissu nerveux et le comportement.

Les céphalopodes sont ainsi appelés parce qu'ils possèdent de longs processus entourant la bouche; ce caractère est parmi ceux qui les distinguent des mollusques inférieurs, comme l'escargot. Les mollusques octopodes (par ex. *Octopus*, la pieuvre) utilisent ces tentacules à la fois comme bras, dans la nutrition, et comme pattes, pour la locomotion. Les décapodes (par ex. *Sepia*, la seiche et *Loligo*, le calmar) ne les utilisent que comme bras et se déplacent soit par ondulations d'une nageoire qui borde chaque côté du corps, soit par expulsion d'un jet d'eau d'une des cavités du corps.

Les mollusques les plus primitifs avaient sans aucun doute une coquille, fournissant une protection contre toutes sortes de prédateurs. Cependant une coquille est chose encombrante qui restreint l'activité, et, d'autre part, l'évolution du groupe les a conduits à rechercher de nouvelles sources de nourriture, inaccessibles à des animaux pourvus d'une lourde coquille. Les céphalopodes ont alors acquis des tentacules et le mécanisme de propulsion par réaction, en même temps qu'ils abandonnaient la coquille comme moyen de protection. Chez les décapodes, il ne reste de la coquille que l'«os de seiche», placé sous la peau et assurant une protection faible puisqu'il ne recouvre pas la tête.

La faculté de changer de couleur est une nouvelle adaptation protectrice et, son acquisition par les mollusques au cours de leur évolution étant tardive, il n'est pas surprenant qu'elle soit réglée par un mécanisme unique. D'autres animaux utilisent les couleurs et les changements de coloration pour stimuler, tromper ou effrayer des individus de la même espèce, des prédateurs ou des proies, mais les mécanismes physiologiques en sont différents.

On trouve, parfois, sur le rivage de la mer, le corps d'une seiche ou d'un calmar morts récemment. Même si la mort remonte à plusieurs heures, on peut encore voir l'activité des chromatophores qui sont responsables des changements de coloration; des vagues ou des nuages de couleurs passent sur la surface du corps continuellement, la modifiant en quelques secondes. Les vagues de couleurs montrent des variations dans les noirs, les bruns, les rouges et les jaunes. Cet effet général est dû à l'activité d'un grand nombre de corpuscules colorés situés dans la peau — rouges, bruns ou jaune orangé — sur un fond blanc nacré iridescent. Chacun de ces corpuscules change en taille depuis un simple point, presque invisible, jusqu'à un maximum pouvant atteindre ou même dépasser, la grosseur d'une tête d'épingle.

On sait depuis longtemps que les chromatophores sont de petits sacs à parois élastiques contenant des granules de pigments dont la composition chimique n'est pas encore complètement élucidée. Il existe des fibres musculaires lisses rayonnantes reliant la paroi externe du sac aux tissus adjacents. La contraction de ces fibres dilate le sac en un disque plat, étalant ainsi son contenu coloré sur une large surface. Quand la contraction des fibres cesse, l'élasticité du sac le réduit à nouveau à une sphère grosse comme une pointe d'aiguille [6]. On a beaucoup étudié les propriétés physiologiques de ces fibres musculaires minuscules. On peut mesurer photoélectriquement le taux d'expansion d'un chromatophore; le passage de la contraction complète à la pleine expansion peut se faire en deux tiers de seconde. Les fibres musculaires semblent à l'abri de la fatigue, car leur réponse ne subit aucune diminution à la suite d'une stimulation efficace de trente minutes avec une fréquence de trente excitations par seconde [4].

Les chromatophores sont répartis dans la peau en trois couches, les jaunâtres étant les plus superficiels, les rouges au milieu et les bruns ou noirs les

plus profonds [6]. En extension, ils se recouvrent les uns les autres, et il en résulte des effets de couleur variés. La couleur de fond nacrée résulte de la réflexion de la lumière sur une couche qui contient des éléments de nature différente, appelés iridocytes [7]. Ces derniers sont incapables de changer de forme, mais sur certaines parties du corps sont agrégés en massifs d'un blanc brillant qui contribuent, comme nous le verrons, avec les chromatophores, à la formation des diverses colorations. Certains massifs d'iridocytes sont, en un certain sens, mobiles, la peau à leur niveau pouvant ou bien reposer à plat sur le corps ou bien se soulever en papilles visibles.

COLORATION PROTECTRICE

On peut classer les couleurs animales en plusieurs catégories suivant leur valeur adaptative, c'est-à-dire suivant la manière dont elles affectent d'autres animaux de la même espèce ou des animaux d'espèce différente occupant le même milieu. Ainsi, la couleur peut donner à un animal certains traits caractéristiques de son milieu immédiat, le dissimulant plus ou moins à ses ennemis qui ne peuvent plus le distinguer des objets voisins non-comestibles.

Pour démontrer que les couleurs d'un animal ont une signification biologique, il faut réaliser des expériences sur le comportement de l'animal lui-même, de ses prédateurs, de ses proies et des individus du sexe opposé. Ces expériences sont souvent difficiles à réaliser et, parmi tous les céphalopodes, la pieuvre étant le seul qui puisse s'accommoder de la vie en aquarium, nos connaissances sur ce groupe sont particulièrement faibles.

LES COLORATIONS DE LA SEICHE

Une seiche qui nage sans être dérangée dans un grand aquarium montre une coloration zébrée. De chaque côté du dos courent de larges bandes dirigées vers le bas, alternativement brun noir et presque blanches (figure 5); des bandes analogues apparaissent sur les grands bras latéraux dont l'un est visible sur la figure. On peut aussi voir que la nageoire en mouvement présente une coloration marbrée brun pâle, la partie inférieure du corps étant blanche. Dans les bandes noires les chromatophores noirs sont presque entièrement étalés alors que dans les bandes claires ils sont entièrement contractés. Ces bandes claires ont une coloration variable de l'orange au blanc, suivant le degré d'expansion des chromatophores de couleur plus claire, le blanc le plus pur se manifestant quand la lumière est presque entièrement réfléchie sur les iridocytes sous-jacents. Quand l'animal est placé dans un petit récipient, ce qui l'oblige à être toujours près des bords ou du fond, il existe au milieu du dos, au-dessus de l'os de seiche et en ayant la forme, une surface tachetée. Dans un grand réservoir les bandes couvrent toute la surface dorsale, bien qu'elles soient plus rapprochées au-dessus de l'os. La figure 5 montre encore des surfaces circulaires blanches à la base de la nageoire.

La surface ventrale du corps est claire et cette différence entre les surfaces supérieure et inférieure illustre le premier principe d'une coloration protectrice: celui du «contreombrage oblitérant». La surface dorsale reçoit le plus de lumière incidente et en réfléchit le moins; la surface ventrale, dans l'ombre, réfléchit presque toute la lumière qui l'atteint et ces faits contrecarrent les effets normaux de l'ombre et de la lumière qui donnent à un objet son relief; l'animal est ainsi protégé par le flou artificiel de sa forme. Si l'on retourne une seiche sur le dos, comme ce doit être souvent le cas lors des combats, les chromatophores noirs de la surface ventrale s'étalent instantanément, réduisant au minimum l'aspect éclatant qui ne manquerait pas de se manifester si la lumière tombait sur le ventre blanc. Il est superflu de mettre en évidence la valeur de protection des bandes noires et blanches, elles servent, comme elles le font pour le zèbre, à rompre la forme du corps et à le rendre invisible en tant qu'objet à forme définie. La seiche nage souvent dans des bancs d'algues ondulantes, et, quand elle se trouve près de la surface les rides de lumière et d'ombre tombent sur elle, ajoutant encore au camouflage.

On trouve aussi souvent les seiches dans les eaux peu profondes près du rivage où le fond de la mer est sableux ou composé de sable coquillier. Quand l'animal nage près d'un tel fond il modifie sa zébrure: il y a contraction partielle des chromatophores noirs et expansion plus importante des chromatophores clairs. En ayant des bandes beaucoup moins contrastées de couleur sable sur le dos, l'animal se confond avec le fond sableux de la mer donnant l'impression d'un simple jeu de lumière. S'il repose sur le sable, les bandes disparaissent complètement, la surface entière du corps devenant tachetée et d'une couleur semblable à celle du fond, par suite de la réflexion de la lumière sur les trois types de chromatophores diversement étalés en taches irrégulières (figure 1). Cette coloration affecte la tête et les tentacules aussi bien que le dos.

Nous en arrivons maintenant aux dessins en carré blanc et bandes que l'on peut facilement obtenir sur des animaux placés dans de petits bacs. Mise dans un récipient dont le fond et les parois ont été noircis, une seiche reçoit relativement peu de lumière incidente. En réponse, elle devient uniformément très sombre, par expansion complète des chromatophores noirs; elle est ainsi invisible. Si maintenant on introduit un objet blanc, tel une plaque en porcelaine, des surfaces blanches apparaissent sur le corps. On peut distinguer trois éléments principaux dans cette coloration blanche et noire: une bande blanche en travers de la tête au-dessus des yeux, un carré au centre du dos et des bandes symétriques s'étendant vers le bas de chaque côté du dos à partir du carré central (figures 6–9). Comme on peut le voir dans ces figures le carré peut apparaître avec ou sans les bandes blanches. Comme dispositif de protection, ces colorations servent à la fois à donner une ressemblance avec le milieu et à effacer les contours extérieurs du corps. Elles s'accompagnent souvent d'une autre sorte de coloration blanche sur fond noir due à la saillie, sous l'action de muscles, de papilles contenant beaucoup d'iridocytes; on trouve ces papilles en positions régulières le long de la base de la nageoire (figure 7). La figure 9 montre un aspect intéressant. Ici l'animal passe directement de la coloration zébrée couleur sable à la coloration à carré blanc, car il vient d'être introduit dans le récipient sombre, et le carré blanc apparaît d'abord sur la moitié du corps dont l'œil est le plus proche de la plaque blanche.

Les colorations les plus remarquables sont peut-être les colorations «terrifiantes» qui apparaissent et disparaissent avec la rapidité de l'éclair. Une forte stimulation produit chez la seiche une série de changements de coloration d'une rapidité remarquable affectant tout le corps de l'animal. On obtient ainsi une succession de colorations dont chacune ne dure que quelques secondes. Il suffit pour obtenir ce résultat de toucher vivement l'animal, de faire un mouvement rapide dans son champ visuel ou de le déranger en essayant de le retourner sur le dos.

Habituellement, le premier résultat d'un dérangement causé à l'animal est l'apparition de deux taches noires symétriques sur le dos, toujours à la même place (figure 4). Si l'on stimule l'animal assez doucement, par exemple en grattant un côté de la tête, il apparaît une seule tache du côté stimulé du corps. L'apparition des taches noires est bientôt suivie d'un pâlissement de tout le reste du corps, les taches ressortant avec une netteté saisissante. Cette pâleur se maintient rarement plus d'une seconde ou deux, elle est immédiatement suivie d'ordinaire d'un changement complet, le noircissement total du corps. Une irritation supplémentaire peut provoquer l'apparition d'une nouvelle coloration: deux bandes noires longitudinales apparaissent sur le dos et le reste du corps redevient blanc. Les lignes ont de petites ondulations courtes et vigoureuses sur le dos pâle. La dernière ressource de l'animal est l'éjection d'un nuage d'«encre»; il devient alors immobile et se cache à l'intérieur du nuage. Celui-ci reste en suspension dans l'eau un temps considérable et interdit l'observation de la couleur de l'animal lui-même. On sait que chez d'autres groupes animaux le déploiement soudain d'une coloration frappante est une forme de coloration d'avertissement. Le déploiement «terrifiant» de la seiche peut aussi la protéger d'une autre manière. Les passages rapides du noir au blanc font que l'animal semble disparaître malgré l'acuité de l'œil humain et le mouvement soudain de formes aux couleurs vives peut effrayer et détourner le prédateur.

A chaque situation déterminée de la vie de la seiche correspond une coloration particulière; celles qui accompagnent l'accouplement ont été décrits par R. Bott [1] et L. Tinbergen [8].

Aucun autre céphalopode ne possède une variété de colorations aussi étendue. La pieuvre montre quelques changements comparables (figures 2 et 3), mais les calmars qui vivent en eau profonde, bien que capables de changements généralisés, ne peuvent produire de dessins visibles. Ces animaux de haute mer montrent souvent, à la place, des dessins luminescents dans l'obscurité [3], mais ils sont si difficiles à garder en aquarium qu'on en a étudié bien peu.

LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL ET LES CHANGEMENTS DE COLORATION

Les petites fibres musculaires dont l'activité contrôle les changements de coloration sont sous la dépendance de fibres nerveuses provenant du système nerveux central, et plus précisément des lobes des ganglions sous-œsophagiens. On a noté depuis quelques années déjà [5] que les colorations des céphalopodes constituent ainsi une représentation visible de l'activité nerveuse.

J. Z. Young et B. B. Boycott ont récemment inclus ce problème dans leurs études du comportement des céphalopodes et de l'organisation nerveuse qui lui sert de support. Dans une note préliminaire, Boycott [2] donne une introduction

FIGURE 1 – *Seiche. Vue latérale de la tête, avec les tentacules sur la gauche. Animal au repos sur un fond de sable coquillier, montrant la coloration marbrée.* ($\times \frac{2}{3}$)

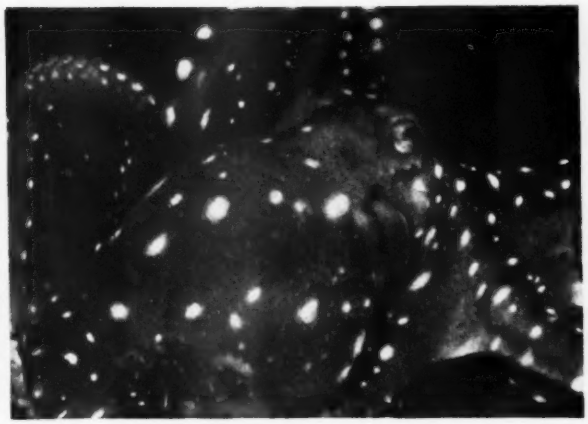


FIGURE 2 – *Pieuvre. Vue de $\frac{3}{4}$ arrière. Les taches blanches d'iridocytes ressortent sur un fond uniforme.* ($\times \frac{1}{3}$)

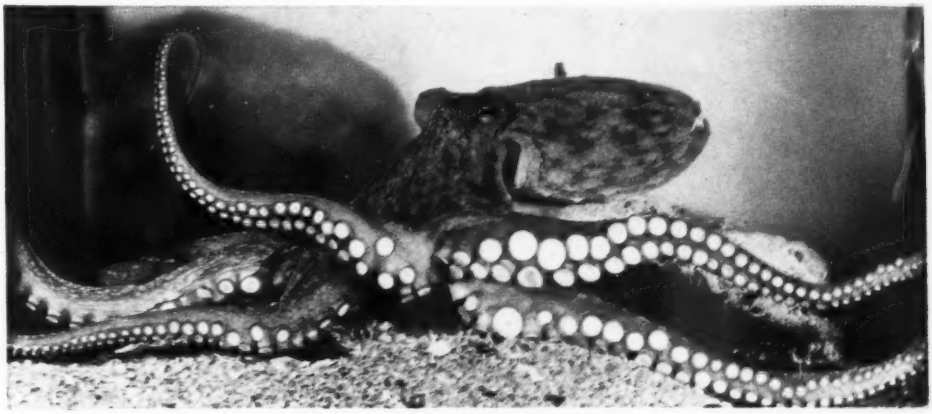


FIGURE 3 – *Pieuvre. Vue de $\frac{3}{4}$ avant. La tête et le corps montrent une coloration marbrée.* ($\times \frac{1}{3}$)
(Photographie de D. Wilson.)

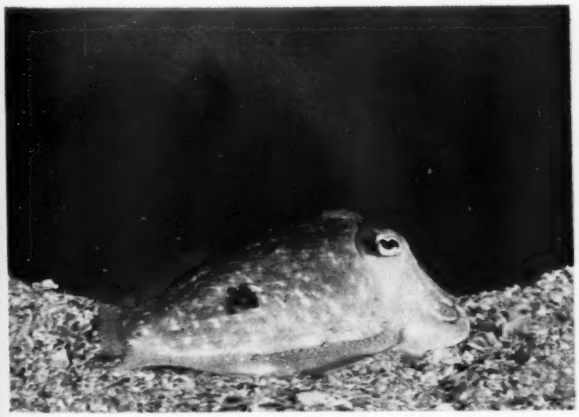


FIGURE 4 – *Seiche. Vue latérale. L'animal a été inquiété et la coloration à taches noires se développe.* ($\times \frac{1}{4}$)

(Photographie de D. Wilson.)

FIGURE 5 – *Seiche. Vue latérale. Coloration zébrée.* ($\times \frac{1}{3}$)

Les figures 1, 2 et 5 proviennent d'un film cinématographique tourné en 1952 à la Station Zoologique de Naples par le Docteur Schulz-Kampfhenkel qui se réserve tous les droits.

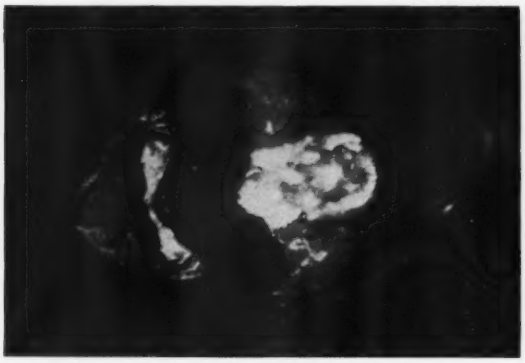


FIGURE 6 – *Seiche. Vue dorsale. Coloration à carré et bandes blancs.* (× ⅓)

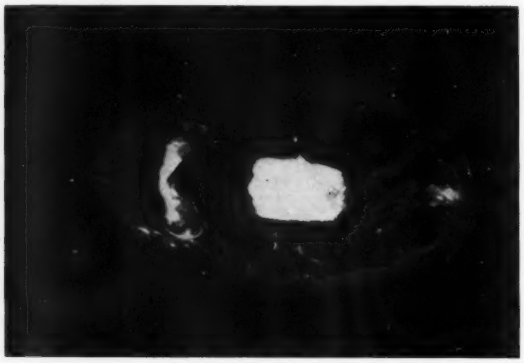


FIGURE 7 – *Seiche. Vue dorsale. Coloration à carré blanc, avec des iridocytes portés sur des papilles dressées sur le côté droit du corps à la base de la nageoire.* (× ⅓)

FIGURE 8 – *Seiche. Vue dorsale. L'animal repose sur un fond noir avec une plaque blanche dans son champ de vision; la coloration à bande et carré blancs se développe.* (× ⅓)

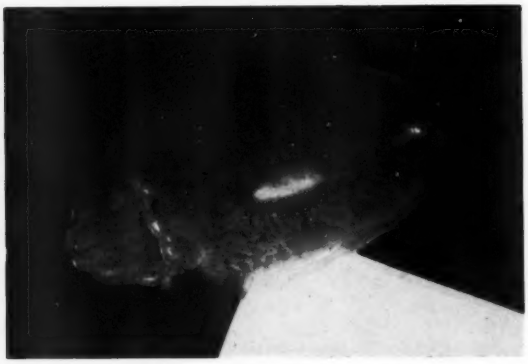


FIGURE 9 – *Seiche. Vue dorsale. La coloration zébrée s'efface et se trouve remplacée par la coloration à carré blanc qui se développe d'abord sur le côté du corps le plus proche de la plaque blanche.* (× ⅓)

à ces études. Les neurones moteurs des chromatophores dans les ganglions sous-œsophagiens sont sous la dépendance de nerfs provenant des ganglions sus-œsophagiens qui constituent les «centres supérieurs» des céphalopodes et ces nerfs peuvent recevoir des excitations de fibres venant des yeux ou des organes du tact ou de l'équilibration. Dans les lobes correspondant aux chromatophores, l'organisation du tissu nerveux montre des différences significatives entre la pieuvre et la seiche d'une part et le calmar de l'autre. Chez les deux premiers animaux la masse des fibres nerveuses caractéristique des centres montre une régularité plus grande dans sa disposition. Il est donc possible que les changements de couleur de ces animaux nous fournissent un moyen d'accès à un problème général extrêmement difficile: celui de mettre en corrélation les différents types d'organisation du tissu nerveux avec les différences dans le comportement.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BOTT, R. *Z. Morph. Ökol. Tiere*, **34**, 150, 1938.

[2] BOYCOTT, B. B. *Proc. Linn. Soc. Lond.*, **164**, 235, 1953.

[3] HARVEY, E. N.: «Living Light». Princeton University Press, Princeton; Oxford University Press, Londres. 1940.

[4] HILL, A. V. et SOLANDT, D. Y. *J. Physiol.*, **83**, 31 (supp.), 1935.

[5] HOLMES, W. *Proc. zool. Soc. Lond.*, A, **110**, 17, 1940.

[6] PARKER, G. H.: «Animal colour changes and their neurohumours». Cambridge University Press, Londres. 1948.

[7] SCHÄFER, W. *Z. Zellforsch.*, **27**, 222, 1937.

[8] TINBERGEN, L. *Arch. néerl. Zool.*, **3**, 323, 1939.

Aspects chimiques de l'industrie atomique

par E. GLUECKAUF

C'est au chimiste qu'est dévolue la tâche d'analyser et de purifier les matériaux qui doivent être utilisés dans les réacteurs nucléaires, et de résoudre le problème de l'élimination de déchets extrêmement dangereux. Ces questions font l'objet du présent article, ainsi que celle de l'utilisation éventuelle des sous-produits radioactifs.

La production d'énergie atomique repose sur la propriété de certains éléments instables de réagir avec des neutrons, et d'amorcer ainsi une réaction en chaîne qui se maintient d'elle-même et qu'on peut régler. Les piles d'uranium naturel utilisent cette réaction en chaîne, mais comme il n'y a pas plus de 0,7% d'uranium 235 dans le minerai, l'énergie générée se présente dans une masse de matière si peu maniable qu'elle est fort difficile à employer. Pour produire économiquement de l'énergie atomique il faut non seulement un combustible nucléaire, mais il faut encore qu'il soit concentré. Ces combustibles concentrés n'existent pas à l'état naturel et l'on doit les fabriquer par des procédés compliqués (figure 1). En principe, il y a trois manières d'obtenir des combustibles qui se prêtent à la combustion par des neutrons lents:

1. Séparation des isotopes d'uranium et extraction des 0,7% d'uranium 235.
2. Production de plutonium 239 par bombardement neutronique d'uranium 238.
3. Production d'uranium 233 par bombardement neutronique de thorium 232.

Le premier procédé paraît le plus simple, à première vue, mais il requiert une mise de fonds appréciable et consomme beaucoup d'électricité. Le deuxième, qui a lieu dans la pile d'uranium naturel, s'est révélé le plus économique. Le troisième pourrait bien venir au premier plan dans l'avenir, mais il ne nous intéresse pas pour le moment car il ne peut fonctionner économiquement qu'avec l'excédent des neutrons produits par les réacteurs à combustibles concentrés.

PRODUCTION DU PLUTONIUM

La figure 2 représente l'arbre généalogique des réactions dans un réacteur à uranium naturel. Un neutron lent rencontre un noyau d'U^{235} et s'unit à lui pour donner l'atome U^{236} instable excité qui explose aussitôt en deux fragments de fission et deux ou trois neutrons; on obtient en moyenne 2,56 neutrons dont le sort est le suivant:

1 se combine avec un nouveau noyau d'U^{235} et continue donc la réaction en chaîne.

0,9 se combine avec de l'U^{238} pour aboutir au plutonium.

0,61 se perd de diverses manières: dans le processus de ralentissement, sous forme d'U^{236} stable, ou en s'échappant.

Les 0,05 neutrons en surplus peuvent servir soit pour accélérer la réaction, soit pour fabriquer des isotopes; si l'on ne s'en sert pas on doit les absorber dans les tiges de contrôle.

Donc, pour chaque kg d'U^{235} détruit on obtient 0,9 kg de Pu et 1 kg de produits de fission. Ils sont généralement mélangés à une tonne d'uranium environ, la quantité dépendant de la vitesse de réaction de l'isotope 235.

Les produits de fission comprennent trente-cinq éléments allant du zinc au gadolinium, soit le milieu de la classification périodique. La plupart sont radioactifs: 1 kg représente une activité initiale de l'ordre de 2 millions de Curies[1], soit 10 kW de puissance rayonnante, de quoi tuer presque instantanément toute cellule vivante qui y serait exposée. C'est évidemment cette radioactivité intense qui gêne tellement les opérations chimiques.

Les problèmes chimiques sont là, cependant, bien avant qu'on mette en marche une pile d'uranium naturel. La figure 2 montre que le surplus de neutrons ne s'élève qu'à 2% du total engendré et l'absence de ces 2% empêcherait la mise en marche. Si des matières étrangères capables d'absorber des neutrons se trouvaient dans la pile, même à l'état de traces, la perte de neutrons monterait rapidement de 0,61 à 0,66 ou même plus haut, et le surplus nécessaire pour accélérer la réaction serait éliminé. Par conséquent tous les matériaux intervenant dans la manufacture d'une

[1] Le Curie est la vitesse de décomposition d'1 g de radium, soit $3{,}7 \cdot 10^{10}$ décompositions atomiques par seconde. L'unité de puissance est le MeV-Curie, soit $3{,}7 \cdot 10^{10}$ MeV/sec, ou 0,0054 W.

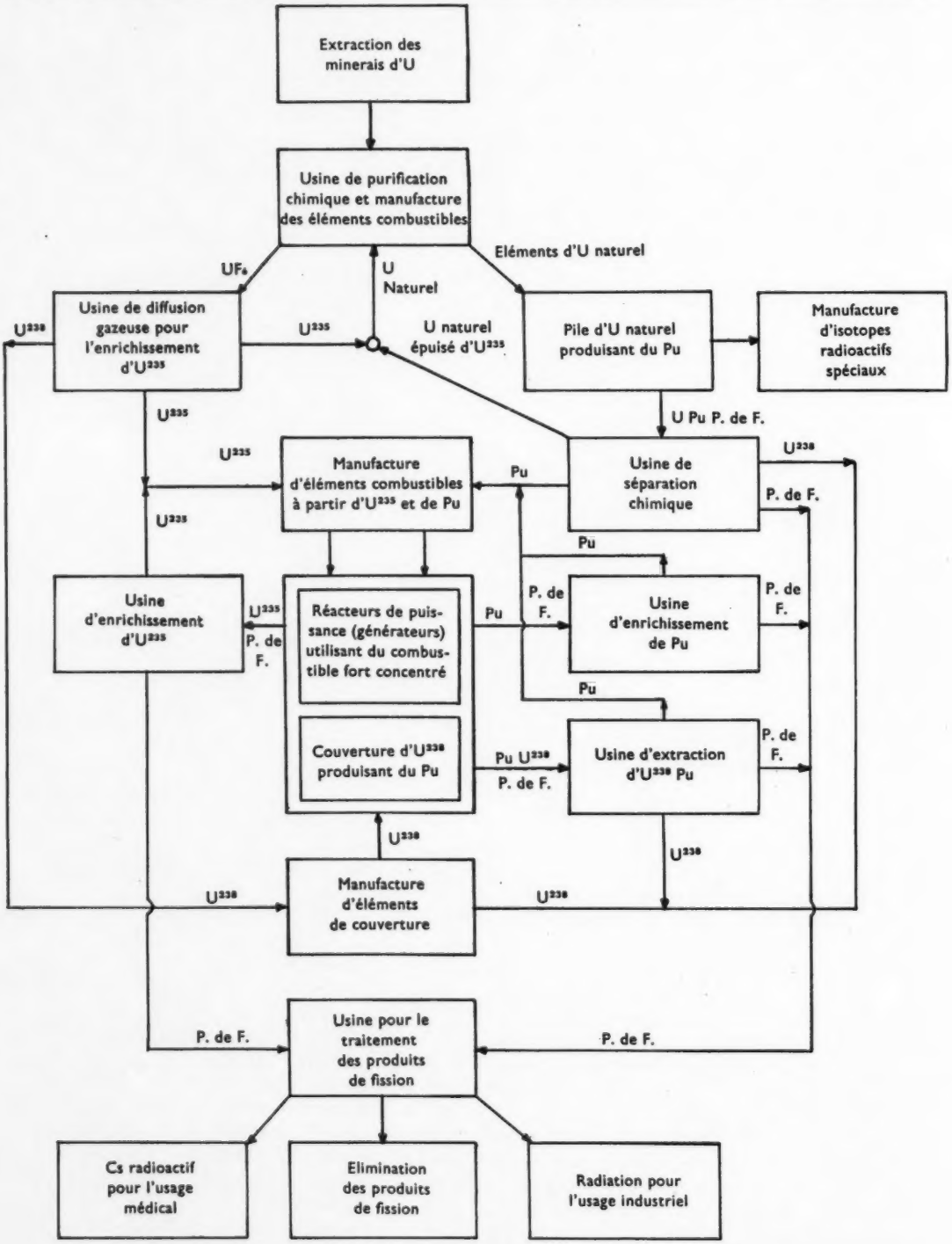


FIGURE 1 – *Diagramme des usines associées à un réacteur d'énergie industrielle.*

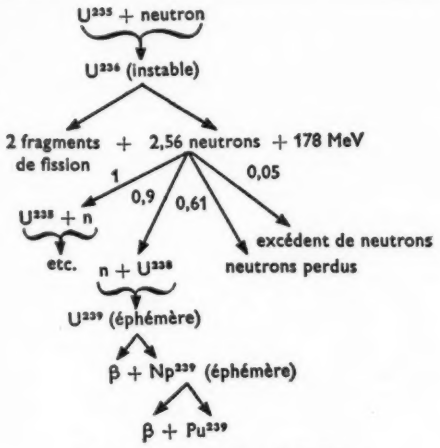


FIGURE 2 – *Schéma de fission.*

pile à neutrons lents doivent être purifiés chimiquement à un point qu'on n'aurait presque jamais imaginé dans la pratique industrielle; on a dû également élaborer des méthodes d'analyse capables de déceler nombre d'impuretés représentant quelques millionièmes à peine. Le faible excédent de neutrons disponibles dans une pile d'uranium naturel provoque encore d'autres complications. Lorsque la pile marche elle crée ses propres poisons sous forme de produits de fission dont certains consomment des neutrons lents. Bien avant qu'une fraction appréciable d'U^{235} ait été employée ces sous-produits se mettent à consommer les neutrons à une allure telle que la réaction de la pile ne se suffit plus à elle-même. Les piles d'uranium naturel et tous les réacteurs à neutrons lents présentent ce trait commun et l'on doit donc régulièrement débarrasser les matériaux fissionables de leurs produits de fission.

SÉPARATION CHIMIQUE PENDANT LE RECYCLAGE

Le Tableau 1 nous donne la composition du matériau à traiter. On y voit les quantités et les intensités radioactives des produits de fission plusieurs mois après qu'ils ont été retirés de la pile; les matériaux radioactifs les plus éphémères sont déjà inactifs et la manipulation est dès lors nettement simplifiée.

On se rend compte que le mélange comprend des constituants appartenant à tous les groupes de la classification périodique; on y trouve en effet également du fer, du nickel, du cobalt et du silicium à l'état d'impuretés, quelque 900 g de plutonium, environ 1000 kg d'uranium et 1 ou 2 g

TABLEAU I

Produits principaux de la fission de 1000 *g d'* U^{235}
(150 *jours d'irradiation,* 30 *jours de refroidissement*)

Groupe	*Elément*	*g.*	*Curies*
1	Rb	14	—
	Cs	108	2 900
2	Sr	39	110 000
	Ba	39	66 000
3	Y + terres rares	308	675 000
4	Zr	114	119 000
5	Nb	5	200 000
6	Mo	84	190
	Te	14	1 200
7	Tc	26	170
	I	6	11 000
8	Ru, Rh, Pd	74	235 000
	Kr + Xe	128	6 300
		Activité totale:	1 426 760

d'américium. Heureusement pour l'ingénieur chargé de monter l'usine il n'a pas pour tâche d'isoler chacun des éléments du mélange mais seulement de diviser celui-ci en trois groupes aussi distincts que possible:

1. Le plutonium, destiné à servir de matériau fissionable concentré.
2. L'uranium à récupérer et «recycler».
3. Le restant, c'est-à-dire tous les produits de fission actifs.

Quatre méthodes principales pour effectuer ce partage viennent tout-de-suite à l'esprit:

1. Extraction par des solvants.
2. Précipitation des solutions, une méthode classique de séparation.
3. Séparation par distillation des halogénures à haute température.
4. Séparations au moyen de colonnes à échange ionique.

Ces méthodes ont toutes leurs avantages et leurs inconvénients, mais aucune ne se prête aussi aisément et avec moins de risque à un mode opératoire continu que l'extraction par les solvants car elle est facile à commander à distance. Comme les

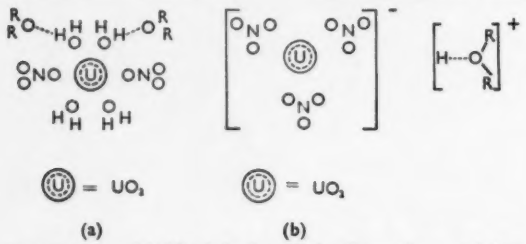


FIGURE 3 – *Modèle* (a) *du nitrate d'uranyle en solution dans l'éther,* (b) *de l'ion trinitrato-uranyle.*

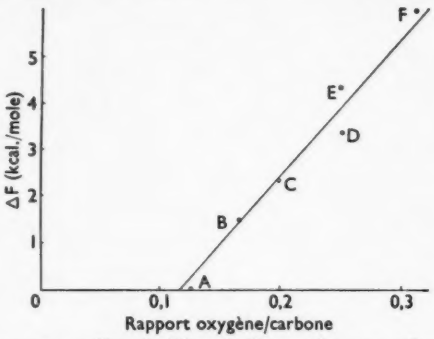


FIGURE 4 – *Energie libre de l'extraction par solvant du nitrate d'uranyle exprimée sous forme d'une fonction du rapport oxygène/carbone de l'éther. A = éther n-dibutyle, B = éther diisopropyle, C = cellusolve dibutyle*

$$C_4H_9—O—C_2H_4—O—C_4H_9,$$

D = éther diéthyle, E = carbitol dibutyle

$$C_4H_9—O—C_2H_4—O—C_2H_4—O—C_4H_9,$$

F = pentaéther $C_4H_9—O—(C_2H_4—O—)_4C_4H_9$.

nitrates d'uranium et de plutonium sont beaucoup plus solubles que le nitrate de tout autre cation dans des solvants organiques porteurs d'oxygène et insolubles dans l'eau (éthers et esters), leur séparation de la masse des produits de fission par l'extraction avec des solvants est praticable.

La chimie de l'uranium et du plutonium dans ces solvants présente en soi le plus haut intérêt [1]. Les nitrates ne sont presque pas ionisés. Ils sont hydratés et ils entraînent leur eau d'hydratation (4 molécules en moyenne) dans la solution organique où la solvation se complète avec le solvant organique. Ainsi le nitrate d'uranyle en solution d'éther neutre se présente plus ou moins comme dans la figure 3(*a*): huit atomes d'oxygène entourent chaque atome d'uranium. En présence d'acide nitrique concentré, par contre, le nitrate d'uranyle dissous s'ionise partiellement et donne l'anion trinitrique non-hydraté $[UO_2(NO_3)_3]^-$, et comme auparavant le noyau est entouré de huit atomes d'oxygène (figure 3(*b*)). Des recherches ont montré que la capacité d'extraction de l'uranium par un solvant donné — ou plutôt, l'énergie libre à l'équilibre d'extraction — est une fonction simple du rapport oxygène/carbone de la molécule du solvant; cette capacité est presque indépendante de la taille ou de l'arrangement des molécules de solvant (figure 4).

Comme on l'a vu le processus d'extraction par les solvants repose sur le fait que les nitrates d'uranium et de plutonium sont plus faciles à extraire que tous les autres nitrates. Bien entendu les nitrates d'uranium et de plutonium diffèrent nettement l'un de l'autre par la stabilité relative de leurs diverses valences. L'un et l'autre ont les valences 3, 4, 5 et 6 mais la plus stable de l'uranium est 6 (nitrate qui peut être extrait), pour le plutonium les plus stables sont 4 (nitrate soluble) et 3 (nitrate insoluble). On séparera donc l'uranium du plutonium en continuant l'extraction par solvant en milieu réducteur.

Le schéma figure 5 pourrait représenter la dissolution de l'uranium et du plutonium à l'état oxydé, leur séparation des produits de fission, l'extraction du plutonium par l'eau en milieu réducteur de la solution organique résultante, et finalement l'extraction de l'uranium par l'eau, ce qui régénère le solvant qui repasse alors dans la première colonne d'extraction.

Les installations chimiques où l'on effectue ce genre d'opérations avec des substances radioactives sont des modèles de propreté. Une plateforme de contrôle de la tour de l'usine de séparation primaire de Windscale se distingue par l'absence d'appareillage impressionnant. En dehors du mur de béton de 2 m d'épaisseur on remarque simplement quelques vannes et des manomètres. Derrière ce mur, où personne n'a pénétré depuis plusieurs années (lors de la mise en marche), il n'y a ni pompes, ni vannes, en fait, aucune partie mobile; rien que des tours d'extraction, des réservoirs et des kilomètres de tuyauterie en acier inoxydable. Le débit des liquides y est réglé par la pression de l'air et par la pesanteur au moyen de dispositifs des plus simples. La figure 6 est une photo de la section de séparation. La tour a 65 m de hauteur et l'on jugera de sa masse en se rappelant qu'il a fallu 30 000 tonnes de béton pour la construire. La séparation primaire ne signifie certes pas que le traitement chimique est terminé: la purification de l'uranium et du plutonium doit continuer, mais lorsque les produits de fission ont été écartés on est ramené aux méthodes ordinaires.

La surveillance vigilante de ces processus entraîne forcément l'établissement de vastes laboratoires

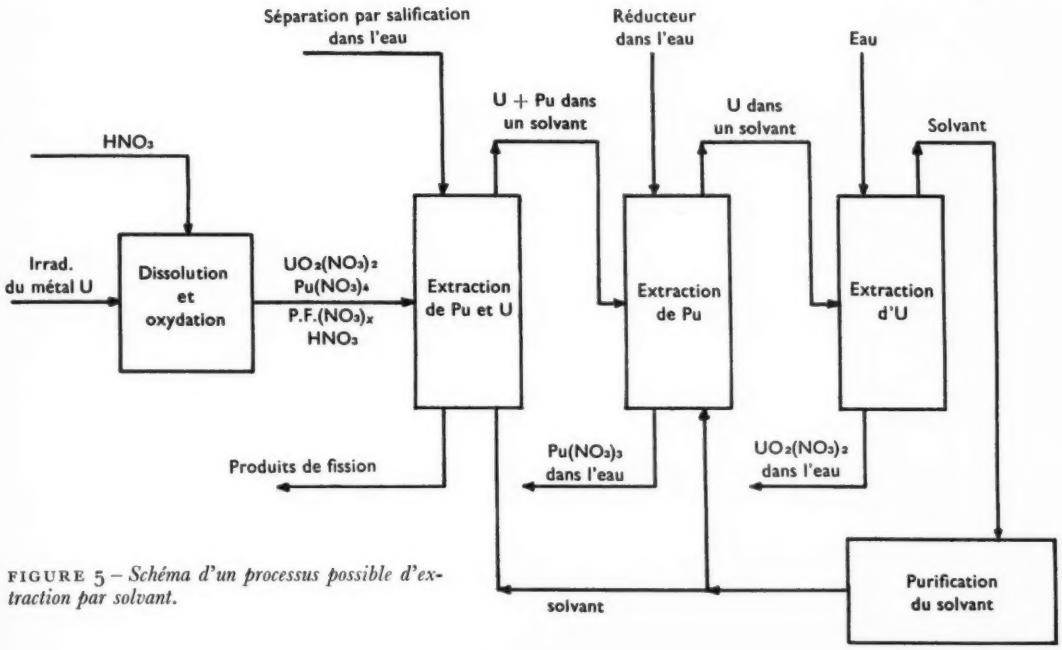


FIGURE 5 – *Schéma d'un processus possible d'extraction par solvant.*

FIGURE 6 – (*à droite*). *Vue extérieure de l'usine de séparation de Windscale. A l'arrière-plan on peut voir les cheminées des piles de production munies de filtres au sommet.*

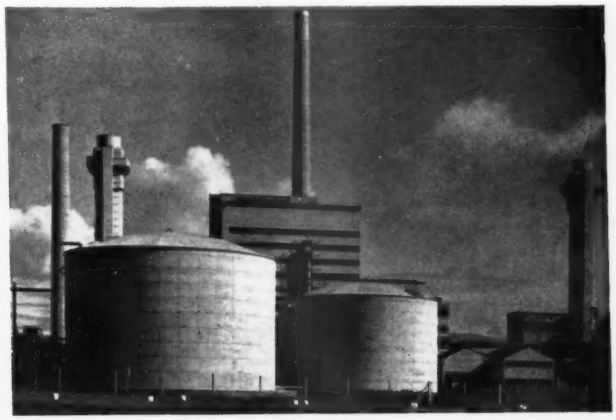


FIGURE 7 – *Tour de l'appareillage chimique à Harwell.*

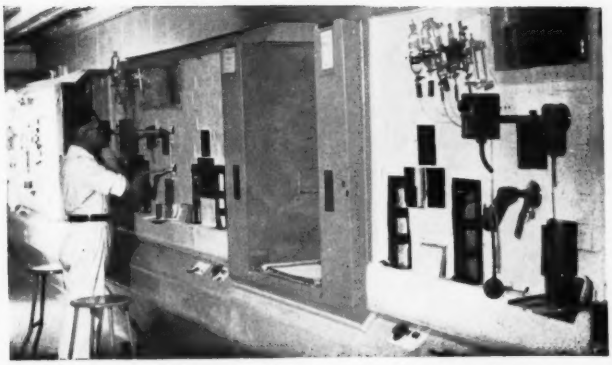


FIGURE 8 – *Manipulation de matériaux radioactifs à l'abri d'un mur de plomb.*

auxiliaires. Ces derniers se distinguent des laboratoires de recherche de l'industrie chimique ordinaire par la prédominance des installations de ventilation. La poussière radioactive constitue un risque plus grave pour la santé que le rayonnement même, et l'on doit renouveler l'air jusqu'à 60 fois par heure lorsqu'on manipule le plutonium. Ces laboratoires sont équipés d'avertisseurs pour le rayonnement et d'autres pour la poussière radioactive. Le travail ne présente aucun danger sous les conditions prescrites et le rayonnement toléré est moindre, en fait, que celui d'une montre-bracelet dont le cadran lumineux contient un peu de matière radioactive.

ÉLIMINATION DES PRODUITS DE FISSION

L'industrie atomique, comme toute autre, doit pouvoir se débarrasser de ses déchets, lesquels, toutefois, sont infiniment plus toxiques et plus dangereux que la plupart des autres. Leur radioactivité persiste trop longtemps et elle est trop intense pour qu'on puisse les déverser dans la mer. On ne pourrait même pas les diluer dans du béton et les couler à pic du haut de la corniche atlantique: leurs effets sur le poisson sont trop imprévisibles pour qu'on puisse s'y risquer. Pour le moment, toutefois, le problème n'est pas encore sérieux parce que les quantités sont minimes et peuvent être conservées en permanence dans des réservoirs en acier inoxydable; mais cette méthode coûte cher.

La situation changera du tout au tout lorsqu'un programme effectif d'énergie atomique sera mis en œuvre. L'Office britannique du charbon (N.C.B.) [2] estime que la quantité de charbon disponible en 1965 pour la production annuelle de courant électrique sera de l'ordre de 50 millions de tonnes (voir figure 9). L'Office britannique de l'électricité (B.E.A.), par contre [3], calcule qu'il devra augmenter sa consommation de charbon de telle sorte qu'elle s'élèvera à 65 millions de tonnes par an en 1965. Pour combler cet écart prévu par de l'énergie atomique il faudra qu'avant 1970, on ait construit environ 50 réacteurs, consommant en tout 8 tonnes de combustible nucléaire par an et fournissant un tonnage égal de produits de fission [6]. Même en tenant compte de la dislocation atomique d'une année cela représente une production de radioactivité d'environ un milliard de MeV-curies, ou l'équivalent de la radiation de 200 tonnes de radium.

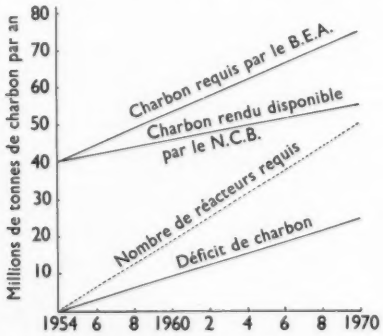


FIGURE 9 – *Déficit du charbon prévu en Grande-Bretagne et nombre de réacteurs requis pour le combler.*

Lorsqu'on opère à cette échelle l'élimination des produits de fission ne peut manquer de devenir un problème sérieux. Pour pouvoir les emmagasiner économiquement il faudrait d'abord les concentrer au plus haut point. Cette concentration implique l'élimination des produits chimiques ajoutés au centuple lors de la séparation primaire [4].

De toutes les méthodes qui ont été suggérées quant à la manière de se défaire des sous-produits deux tendances générales se dégagent. La première est de les enterrer (ou leurs solutions) dans des conditions telles qu'ils ne puissent en aucun cas remonter à la surface avant l'extinction complète de leur radioactivité. La seconde est de réduire au minimum leur volume sous forme de substances difficiles à dissiper et de les garder sous surveillance de façon permanente. Quelle que soit la méthode adoptée, il ne faut en aucun cas, pour des motifs économiques, que le traitement éliminatoire augmente le coût de production de l'énergie électrique de plus d'une fraction de penny par kWh, c'est-à-dire d'environ 5%, sans tenir compte du coût de distribution et des frais généraux qui dépassent plusieurs fois le coût du combustible. Ces considérations restreignent singulièrement le choix des méthodes disponibles et éliminent virtuellement celles qui impliquent le transport à distance des produits de fission.

Quelle que soit la méthode qu'on adoptera en définitive il semble à présent que trois traitements chimiques devront être entrepris:

1. Concentration des solutions de déchets, vraisemblablement par évaporation de la masse des constituants inactifs volatils.
2. Désacidification des solutions concentrées par extraction d'acide, par électrolyse au moyen de membranes à échange anionique, ou par neutralisation.
3. Séparation des produits de fission en produits à longue vie d'une demi-période de plus de 5 ans, et en éléments à vie plus courte.

Les deux premiers procédés présentent des avantages pour un entreposage quelconque. Le troisième nous permettrait d'accepter pour les matériaux à courte vie le risque restreint qui accompagne l'élimination directe dans le sol; en vingt ans leur activité deviendrait insignifiante. Comme cette méthode est peu coûteuse en des emplacements convenables, elle nous permettrait de dépenser davantage pour l'élimination du volume moindre des éléments réellement dangereux, notamment Cs^{137} et Sr^{90}; ceux-ci devraient être surveillés de près en permanence.

UTILISATION FUTURE DES PRODUITS DE FISSION

Pour le moment c'est le caractère nocif des produits de fission qui retient toute notre attention, mais il n'y a nulle raison de croire qu'il en sera toujours ainsi. Les 10^9 MeV-Curies contenus dans les produits de fission représentent une source rayonnante unique ayant une activité chimique potentielle considérable d'un débit continu de 5,4 MW. Nous ne savons pas encore bien comment une source d'un rayonnement aussi intense pourrait être utilisée de façon économique dans des réactions chimiques, mais même comme source de chaleur, au taux d'un penny par kWh, la valeur annuelle est près de £200 000. En tant que source d'énergie rayonnante sa valeur potentielle dépasse certainement plusieurs millions de livres par an. Il est clair qu'on ne peut considérer comme déchet une source d'énergie de cette envergure et l'on procède à des recherches en vue d'élaborer des méthodes pour l'exploitation de ces radiations à l'échelle industrielle [5]. On envisage notamment de les utiliser pour amorcer et accélérer les réactions en chaîne comme la polymérisation de l'éthylène et le cloisonnement des polymères à longue chaîne, et encore, dans la conservation de certaines denrées alimentaires et la stérilisation de produits pharmaceutiques. D'autres applications industrielles utiles pourraient bien se présenter lorsque des quantités vraiment importantes de produits de fission deviendront disponibles.

La majeure partie de l'énergie rayonnante des produits de fission traités est contenue dans quatre éléments, aux propriétés fort différentes. Ce sont d'abord des isotopes à longue vie, celui du césium (demi-période de 32 ans) riche source de rayonnement γ, et celui du strontium (demi-période de 20 ans) source de rayonnement β pur. Le premier contribuera sans aucun doute de façon appréciable à l'extension du traitement du cancer, mais ce domaine tout entier ne réclamera qu'une fraction minime de la production totale de césium. On a d'autre part les isotopes à vie plus courte, le Zr^{95} (et sa fille Nb), et le Ce^{144} (et sa fille Pr). Le premier émet un rayonnement γ intense qui, pour un poids donné est presque 100 fois plus intense que celui du césium et il pourrait bien trouver son application normale dans tous les cas où l'on requiert de petites sources γ d'une intensité d'environ un million de Curies. Ce^{144} émet un rayonnement β qui n'est pas tout à fait pur qui, grâce à sa demi-période plus courte, a une intensité spécifique beaucoup plus grande que le Sr^{90}.

On ne se rend pas souvent compte que les produits de fission contiennent également nombre d'éléments chimiques inactifs d'une valeur considérable bien qu'elle paraisse minime à côté de la valeur énorme de l'énergie du réacteur et même de l'énergie rayonnante des produits de fission. Le plus précieux de ces éléments est le xénon, qui, en partant de huit tonnes de matériau fissionable, serait produit au rythme de 100 m^3 par an. Un produit intéressant qui n'existe pas à l'état naturel est l'élément 43, le technétium. Il serait produit au taux de 200 kg/an. Sa radioactivité, avec une demi-période de $2 \cdot 10^5$ ans est pratiquement négligeable, et l'on pourrait bien en découvrir des applications utiles. Il serait prématuré, évidemment, de déclarer que les frais de manufacture permettront une récupération économique de ces produits à partir de mélanges fortement radioactifs, mais cette éventualité interviendra certainement dans le choix des méthodes d'élimination.

BIBLIOGRAPHIE

[1] McKay, H. A. C. et Mathieson, A. R. *Trans. Faraday Soc.*, **47**, 428, 1951.

Glueckauf, E., McKay, H. A. C., et Mathieson, A. R. *Ibid.*, **47**, 437, 1951.

[2] «Plan for Coal». National Coal Board, Londres. 1950.

[3] «B.E.A. Fourth Report and Accounts 1951–2». Her Majesty's Stationery Office, Londres.

[4] Hatch, L. P. *Amer. Scient.*, **41**, 410, 1953.

[5] Walton, G. N. *Atomic Scient. J.*, **3**, 200, 1954.

Walton, G. N. et Wright, J. *Nature, Lond.*, **127**, 147, 1953.

Rapport préliminaire préparé par le groupe Stanford. *Nucleonics*, **8**, N° 5, 5, 1951.

Chem. Engng Progr., Symposium Series **50**, N° 5, 249, 263, 1954.

[6] «A Programme of Nuclear Power». Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1955.

Les premiers fabricants d'instruments en Angleterre

par DEREK J. PRICE

A partir du 16e siècle le métier de fabricant d'instruments scientifiques est bien établi en Grande-Bretagne, et ceux qui l'exercent contribuent, tout autant que leurs confrères étrangers, à l'avancement des sciences expérimentales. Les instruments précis et bien conçus ont apporté une aide efficace aux expérimentateurs, et beaucoup de ceux qu'on a conservés sont des chefs-d'œuvre d'exécution. Les réunions amicales qui avaient lieu dans les ateliers des fabricants d'instruments ont parfois préludé à la fondation de sociétés savantes.

Un trait caractéristique des débuts de la Renaissance scientifique fut l'accroissement considérable du nombre des «petits savants». Il y en eut aussi de grands évidemment; mais tandis qu'en l'an 1500 ceux-ci travaillent dans l'isolement, deux siècles plus tard ils sont entourés d'une multitude de gens dont les uns fabriquent et vendent des appareils scientifiques que les autres achètent et utilisent journellement.

Ils sont pour la plupart des inconnus, ces fabricants d'instruments, graveurs, maîtres de navigation, géomètres-arpenteurs et autres techniciens. Cependant quelques-uns de leurs instruments en métal qui existent encore ont été conservés parce qu'ils sont des chefs-d'œuvre. Quelques documents nous sont aussi parvenus, mais nous sommes généralement mal renseignés sur la carrière de ces hommes dont les ateliers, les corporations, et les lieux de réunion furent le siège des premières activités scientifiques organisées en dehors des universités. C'étaient au début des artisans à qui les mathématiciens et les astronomes confiaient la fabrication des instruments trop compliqués, trop précis ou d'une trop grande richesse d'ornementation pour qu'ils puissent s'en charger eux-mêmes. Bientôt les fabricants d'instruments à leur tour rallièrent autour d'eux des savants, des techniciens et des «curieux» de choses scientifiques, attirés par la «philosophie nouvelle».

En Angleterre, tout autant qu'ailleurs, le fabricant d'instruments a eu son importance. C'est à Nuremberg, probablement sous l'inspiration de Régiomontanus, «le Père de l'Astronomie moderne», que le métier voit le jour. Dès le milieu du 16e siècle il s'exerce à Augsbourg et autres villes allemandes, puis à Louvain et bientôt dans toute l'Europe; il se manifeste assez tard en Angleterre, mais une fois arrivé, très vite il s'établit et se propage à Londres, ville capitale et port de mer, où les conditions lui sont plus favorables qu'ailleurs. En Italie et en France il y eut d'admirables faiseurs d'instruments, mais ils ne firent pas école. Les ateliers de Louvain furent dévastés et leurs ouvriers dispersés par les troupes d'Alexandre Farnèse en 1578. En Allemagne le métier tombe dans le marasme peu après l'an 1600 et la guerre de Trente Ans lui porte un coup presque fatal. Par contre, dès 1650, Londres était devenu le centre européen le plus actif de la fabrication des instruments scientifiques, et d'autres pays voyaient avec inquiétude l'infériorité de leurs artisans et de leurs conditions de travail. Londres, toutefois, avait pris une telle avance que sa prépondérance se maintint jusqu'à la disparition du vieil artisanat et l'avènement des usines et la fabrication en série.

Il est malaisé de désigner celui qui le premier en Angleterre fabriqua des instruments. Par ailleurs, jusqu'à la fin du moyen âge, les savants ont établi et fabriqué leurs propres instruments. C'est ainsi que les remarquables travaux des astronomes de *Merton College*, à Oxford, leur ont permis de fabriquer de nombreux appareils nouveaux et compliqués.

C'est sans doute le Bavarois Nicolas Kratzer (1486–1550) qui le premier a introduit en Angleterre les méthodes allemandes, très prisées malgré leur nouveauté, de fabrication d'instruments. D'abord précepteur chez Sir Thomas More, il devint par la suite astronome et horloger du roi Henri VIII et chargé de cours à Oxford. Nous le connaissons par son portrait qui se trouve au Louvre, œuvre de son ami Holbein (figure 3). Certains des instruments faits par Kratzer, qui figurent dans le tableau, se retrouvent dans la toile du même artiste intitulée «Les Ambassadeurs», exposée au *National Gallery* de Londres (figure 5). A Oxford il enseigna la «doctrine de la Sphère» et construisit des cadrans solaires avec un

soin minutieux. Celui qu'il fit pour le cardinal Wolsey est conservé au Musée de l'Histoire de la Science, d'Oxford.

Kratzer a été un astronome plutôt qu'un artisan. Il se peut qu'il ait suscité de l'intérêt pour les instruments scientifiques, mais il ne paraît pas qu'il ait enseigné à d'autres à en fabriquer. C'est peut-être dû à son ignorance de la langue anglaise.

Le deuxième contact avec les techniques européennes fut plus fructueux. Il s'agit cette fois d'un réfugié protestant, Thomas Lambrit, originaire d'un village flamand des environs de Liège. Il prit en arrivant à Londres le nom de Thomas Gemini (c. 1524–62). Graveur très habile, il semble s'être fait connaître en exécutant les planches de l'édition anglaise (1545) de l'«Anatomie» de Vésale. Il était peut-être en relations avec les Arsénius, qui fabriquaient des instruments à Louvain et dirigeaient l'atelier fondé par leur parent l'astronome Gemma Frisius et son collaborateur Gérard Mercator. On a conservé de Gemini trois beaux astrolabes dont la facture rappelle celle des Arsénius: l'un, actuellement la propriété de l'Observatoire Royal de Belgique, a été exécuté pour Sir John Cheke, et les deux autres pour la reine Elisabeth d'Angleterre. L'un de ceux-ci se trouve à Oxford et l'autre au Musée National Maritime de Greenwich. Gemini a en outre édité des cartes et des livres.

Il est certain que le premier Anglais de naissance à construire des instruments fins fut l'homme du Nord Humphrey Cole (1530?–1591), graveur d'étampes qui, outre ses fonctions officielles de collaborateur de William Humfrey à la Monnaie, travaillait pour l'imprimeur William Jugge et la *Mineral and Battery Works* qui avait établi sur des bases solides la fonderie du cuivre en Angleterre. Les travaux de Cole ressemblent beaucoup à ceux de Gemini et ceci renforce l'hypothèse d'après laquelle le jeune Cole aurait fait son apprentissage chez Gemini, alors le seul faiseur d'instruments établi à Londres. Il était peut-être apparenté à Jacob Cole, de Londres, beau-frère du fameux géographe anversois, Abraham Ortelius. S'il en était réellement ainsi, cela constituerait un lien additionnel avec les Pays-Bas. La façon et les gravures de Cole sont de tout premier ordre, et la variété des instruments qui nous sont parvenus indique qu'il ne reculait devant aucune difficulté: quantité d'astrolabes et de cadrans solaires de tous genres, théodolites et cadrans de pointage, un astrolabe de mer, un nocturlabe, une sphère armillaire, des «multiples» qui contenaient l'équipement d'un observatoire en miniature — notamment ceux de Sir Francis Drake et de l'ami de Cole, l'imprimeur Jugge — et enfin un jeu complet d'instruments exécutés à l'occasion du premier voyage de Martin Frobisher en quête du passage du Nord-Ouest. Il possédait à fond son métier, et cependant des témoignages contemporains et le texte de certaines suppliques révèlent qu'il mourut dans la misère.

Du vivant même de Cole le nombre de faiseurs d'instruments à Londres avait commencé à croître. Une annonce contemporaine[1] rappelle que «l'on trouve des balances, des boussoles et divers instruments géométriques en métal chez Humfrey Cole, près du portail nord de Saint-Paul, et chez John Bull, près de la Porte de la Bourse; en bois, chez John Reade de Hosier Lane, chez James Lockerson, près de l'aqueduc de la Porte Dowe, et chez John Reynolds à Tower Hill. . . . J'ai jugé utile de faire la présente publicité parce que beaucoup de gens qui voudraient se munir de ces articles ne savent pas où se les procurer». A part les susmentionnés, il y a deux autres dont les noms sont souvent associés à celui de Cole, et qui par la facture et le modèle de leurs instruments semblent avoir été ses élèves, sinon ses apprentis. Ce sont James Kynfin (c. 1569–1610) et Charles Whitwell (c. 1591–1606) qui firent pour Sir Robert Dudley un grand nombre d'instruments (figure 2) dont certains, portant leur signature, existent encore à Florence, où Dudley vécut en exil. Kynfin fabriqua aussi un beau cadran solaire portatif pour Robert Devereux, Comte d'Essex, et dans une lettre écrite en 1609 il se dit être un serviteur du Prince Henry, ajoutant qu'il a travaillé 40 ans à certaines «machines de guerre». De Whitwell nous avons des instruments signés mais aucun détail biographique ne nous est parvenu sauf le fait que Elias Allen (c. 1606–54) s'installa après lui dans le même local. Il se pourrait donc qu'Allen eût été le successeur ou même l'apprenti, de Cole.

Ils étaient tous des artisans, et pourtant Allen se distingua à tel point qu'un très beau portrait de lui a été conservé (figure 4), gravé par Wenceslaus Hollar en 1660, six ans après la mort d'Allen, d'après une toile de H. van der Borcht. Il naquit près de Tunbridge Wells, dans le Kent, probablement au village d'Ashurst dans le cimetière duquel se trouve sa tombe ainsi qu'un cadran solaire offert par lui. Dans sa jeunesse il avait fait des arpentages de terrains (dans l'Oxfordshire notamment, en 1609) avant de s'établir définitivement à

[1] Edward Worsop, *A Discoverie of sundrie errours and faults daily committed by Lande-meaters, ignorant of Arithmetike and Geometrie.* Londres, 1582.

FIGURE 1 – *L'astrolabe de 60 cm de Humphrey Cole. (Reproduction aimablement autorisée par la Société des Antiquaires de Londres.)*

FIGURE 2 – *Cadran azimutal inventé par Sir Robert Dudley; construit probablement par Whitwell ou Kynfin. L'instrument est un précurseur du «cadran horizontal double» de W. Oughtred. (Reproduction aimablement autorisée par le Conseil d'Administration du British Museum.)*

FIGURE 3 – *Nicolas Kratzer, par Holbein. (Dû à l'amabilité de la direction du Musée du Louvre.)*

FIGURE 4 – *Elias Allen et ses instruments. Gravure de Hollar, exécutée d'après une peinture (actuellement perdue) de H. Van der Borcht. (Reproduction aimablement autorisée par le directeur du Science Museum, South Kensington.)*

FIGURE 5 – *Un détail des «Ambassadeurs» de Holbein; globe terrestre et instruments de mesure. (Reproduction aimablement autorisée par le Conseil d'Administration de la National Gallery de Londres.)*

Londres en 1611. A partir de 1630 son nom, ainsi que des pièces de sa fabrication, signées et datées, se rencontrent fréquemment. Il fut le premier fabricant d'instruments à être admis à une maîtrise dans le corps des horlogers (1636). Sa boutique, à l'enseigne du Fer à Cheval, située dans le Strand, près de Temple Bar et face à l'Eglise St. Clément, était bien connue et appréciée des techniciens, des écrivains et des amateurs de science.

Allen occupait une situation en quelque sorte officielle dans la confrérie des faiseurs d'instruments. C'est lui qui exécuta la copie du *yard*-étalon conservée au Guildhall; lui également que Robert Hooke mentionne comme étant le président du «club des faiseurs d'instruments» dont nous ne savons malheureusement rien de plus. Nul doute que les boutiques des fabricants d'instruments offraient un terrain propice aux échanges d'idées entre les géomètres, navigateurs et amateurs de science qui y venaient faire des commandes d'instruments pour eux-mêmes ou leurs employeurs.

Les fabricants d'instruments trouvaient manifestement profit à encourager leurs clients dans la voie des expériences, car dès 1650 il y en avait au moins un trentaine exerçant à Londres, et au début du siècle suivant tel était l'engouement pour les sciences que ce nombre était largement dépassé. La moyenne annuelle de livres publiés sur les «mathématiques expérimentales» avant 1650 était de deux; après, elle passa à sept.

Retracer la filiation de maître à apprenti dans une confrérie aussi nombreuse est une tâche presque impossible. Nous savons pourtant en ce qui concerne Elias Allen qu'il avait comme associé son fils, ou neveu, John Allen (c. 1632–7), et qu'un de ses apprentis Ralph Greatorex (1625–1712) était comme son maître l'ami personnel et le correspondant du mathématicien William Oughtred qui établit les modèles d'un grand nombre d'instruments. Plusieurs membres de la naissante *Royal Society*, dont Samuel Pepys, l'auteur du fameux journal, où paraît souvent le nom de Greatorex, ont été les clients de celui-ci.

Greatorex eut pour apprenti Henry Wynne (c. 1654–1709), dont Thomas Tuttell (c. 1695–1702) fut à son tour l'apprenti. Il existe de beaux échantillons de l'œuvre de tous deux. Après la sixième génération on perd la trace de cette lignée. D'ailleurs il y en a alors tant d'autres qu'il serait futile de tenter de les faire remonter toutes à Gemini ou à Cole. Il est à noter que ce n'est pas une tradition immuable que l'on se transmettait de maître à apprenti: on perfectionnait constamment les modèles, on renouvelait les méthodes de fabrication et on utilisait de nouveaux matériaux. Certain fabricants se mirent à construire des appareils d'optique, tels que microscopes et télescopes, mais par la suite cette catégorie d'instruments fut réservée exclusivement aux seuls lunetiers. Les fabricants non-spécialisés avaient suivi la voie tracée par Elias Allen et adhéré en bloc en 1667 à la corporation des horlogers.

BIBLIOGRAPHIE

TAYLOR, E. G. R. «The Mathematical Practitioners of Tudor and Stuart England». Cambridge University Press, Londres. 1954.

Changements de couleur des crustacés et neurosécrétion

par SIR FRANCIS KNOWLES

On observe chez les crustacés des modifications de colorations rythmiques et d'autres, adaptatives, correspondant à des changements de fond ou d'illumination. Ces effets résultent des mouvements des chromatophores, provoqués vraisemblablement par la neurosécrétion d'hormones spécifiques. Ce sont les recherches effectuées récemment sur cette question qui sont décrites ici.

Chaque jour et chaque nuit tous les organismes vivants accomplissent des adaptations délicates et précises pour suivre les modifications du milieu et ceci n'est nulle part plus évident que pour les minutieux changements de couleur des crustacés. Certains de ces changements, lents et réguliers, sont synchrones des mouvements du Soleil, de la Lune et de la Terre, puisqu'ils dépendent de l'aurore et du crépuscule, des marées et des saisons; d'autres, adaptatifs, suivent l'illumination et la couleur du fond.

Au cours de ces dernières années, Brown et ses collaborateurs ont étudié en détail les modifications rythmiques de la coloration chez un crabe du genre Uca. Ces changements résultent de l'interaction de deux rythmes, l'un diurne, l'autre lié aux marées. Les crabes deviennent plus sombres le jour et pâlissent la nuit, mais l'assombrissement maximum correspond au moment de la basse mer sur la plage où vit l'animal; il se décale donc dans le temps chaque jour comme le fait la basse mer. Ces deux rythmes persistent et continuent à se manifester chez l'animal transporté au laboratoire et maintenu en obscurité permanente. Les crabes continuent à changer de couleur dans l'obscurité en harmonie parfaite avec leurs congénères restés sur la plage. Quand le soleil brille et que la marée descend, les crabes de la plage deviennent plus sombres, ce qui les protège contre le soleil et les prédateurs, et leurs camarades capturés, qui sont dans l'obscurité depuis un mois parfois, subissent les mêmes modifications. Ces crabes semblent posséder une horloge biologique qui résiste remarquablement aux changements de température. En effet, une variation de température quelconque entre 6° et 26° n'influe pas sur le double rythme; pourtant ces rythmes peuvent être modifiés en exposant l'animal à des périodes anormales d'illumination. Brown a résumé récemment [1] ces expériences et leurs enseignements.

Ces rythmes de l'Uca sont peut-être caractéristiques de tous les crustacés, mais les changements de couleur les plus spectaculaires et les plus complexes chez les crustacés sont ceux qui se font en réponse à des modifications rapides et inattendues du fond et de l'illumination quand l'animal se déplace sur du sable, des rochers ou des algues. L'étude de ces changements de couleur adaptatifs qui font coïncider la nuance et le dessin de l'animal avec ceux du fond, nous a révélé un remarquable système neurosécréteur de régulation qui, par beaucoup de côtés, présente un intérêt biologique général.

COULEURS DES CRUSTACÉS

Il n'y a guère plus de cent ans que l'on a décrit les changements de couleur des crustacés, alors que les changements de couleur des vertébrés inférieurs avaient déjà attiré l'attention des naturalistes du temps d'Aristote. Au premier abord, les couleurs des crabes et des crevettes semblent ternes, en comparaison des brillantes couleurs de certains poissons ou reptiles; mais sous le microscope on peut voir que la coloration générale résulte de la juxtaposition de pigments vifs de diverses couleurs contenus dans des chromatophores délicatement ramifiés (planche 1). Les mouvements indépendants de ces pigments adaptent la couleur du corps de l'animal à celle du fond sur lequel il repose.

On se sert, pour décrire l'état physiologique des chromatophores, des termes «expansion» et «contraction», en admettant pourtant d'ordinaire que les prolongements du chromatophore occupent une position fixe par rapport à l'hypoderme et que les changements de couleur résultent de migrations

de granules pigmentaires le long de chemins fixes, peut-être sous l'action des courants cytoplasmiques. Beaucoup de chromatophores ont des structures complexes et contiennent plus d'un pigment.

Les couleurs et les ornementations des crustacés sont très diverses, mais l'organisation des chromatophores est remarquablement constante dans chaque groupe. De nombreux chromatophores de différents types, ayant chacun une distribution spécifique, donnent un dessin défini. Par exemple, chez la crevette commune, *Leander serratus*, utilisée pour beaucoup de travaux expérimentaux sur les couleurs des crustacés, le dessin est dû en grande partie aux grands chromatophores jaune-rouge disposés en bandes et aux chromatophores rouge-blanc dispersés régulièrement, qui réfléchissent la lumière et deviennent très perceptibles quand la crevette repose sur un fond sombre. Le reste du corps est couvert de chromatophores jaune-rouge, plus petits. On trouve aussi des chromatophores jaunes, rouges et blancs sur les pattes, le telson et les uropodes, mais les modifications de ces chromatophores périphériques ne sont pas toujours en accord avec celles des chromatophores du corps; morphologiquement très comparables, ils en sont donc physiologiquement différents.

Les crevettes placées sur un fond blanc et éclairées d'en haut ont leurs chromatophores blancs étendus, mais tous leurs chromatophores sombres contractés. Par contre, sur un fond noir éclairé, les chromatophores sombres s'étendent et les blancs se contractent. Cependant, dans leur milieu naturel, les crevettes rencontrent rarement des illuminations aussi intenses ou des fonds monochromatiques analogues à ceux que l'on utilise dans les expériences de laboratoire. Les crevettes prises à la drague, et examinées aussitôt remontées, montrent toutes les variations possibles dans le degré de dispersion des pigments dans les différents chromatophores. Un système aussi compliqué doit manifestement avoir un mécanisme de régulation complexe. On a suspecté pendant longtemps le système nerveux bien que les recherches les plus minutieuses pour mettre en évidence des terminaisons nerveuses dans les chromatophores aient échoué.

LA DÉCOUVERTE DE LA GLANDE DU SINUS

On peut dire que l'endocrinologie des crustacés a commencé quand Perkins et Koller ont démontré indépendamment sur des crevettes, que l'interruption de l'irrigation sanguine des chromatophores entraîne une immobilité immédiate des pigments et que la section des nerfs d'une région voisine est sans effet [2, 3]. Les chromatophores de cette région continuent à fonctionner sous l'action d'une modification de l'illumination ou de la couleur du fond. En cherchant à mettre en évidence une substance transportée par le sang qui affecte les mouvements de pigment, ils ont trouvé que par ablation des pédoncules oculaires on obtient des crevettes sombres à pigments rouges dispersés. On peut revenir à la couleur pâle normale, en injectant à l'animal privé de ses yeux des extraits de pédoncules oculaires dans l'eau de mer. Quelques années plus tard, Hanström [4] a montré que la source la plus puissante de substances chromactives dans le pédoncule oculaire est un petit organe en disque richement innervé; il avait antérieurement décrit cet organe sous le nom de glande du sinus, à cause de sa proximité avec un sinus sanguin. Pendant de longues années, à la suite de cette découverte, de nombreux chercheurs ont cherché activement à déterminer la structure de la glande du sinus, mais, chose surprenante, il y eut peu de progrès. La structure ne paraît pas être cellulaire, malgré la présence de cellules dispersées dans la glande du sinus chez certaines espèces [5]. On n'a pu y trouver distinctement aucun canal excréteur, bien qu'on ait parfois observé des lignes ayant l'apparence de fins canaux. Tous les chercheurs sont d'accord sur le fait que la structure est extrêmement simple, ce qui apparut surtout remarquable quand des études postérieures montrèrent que les glandes du sinus interviennent manifestement dans la régulation de beaucoup d'activités, notamment les mouvements de deux pigments rétiniens, la mue, la croissance et la maturation des œufs et le taux de sucre du sang. Il y avait lieu de se demander si la glande du sinus produit elle-même toutes les substances que l'on y a trouvées ou si celles-ci, fabriquées autre part, ne sont pas seulement stockées dans la glande du sinus.

HORMONES DU SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

Au moment où les recherches de Hanström démontraient que la glande du sinus est la source la plus puissante de l'hormone chromactive, il devenait clair que des hormones chromactives étaient produites dans d'autres organes. En 1933, Brown trouve [6] que des extraits du système nerveux central contiennent des activateurs des pigments. En 1939, Knowles [7] montre qu'un activateur du pigment blanc peut s'extraire de la région thoracique du système nerveux central

même trois ou quatre semaines après ablation des pédoncules oculaires contenant les glandes du sinus. Brown [8] décrit les recherches ultérieures sur les substances chromactives. Les essais pour localiser un centre dans le système nerveux ont montré que la plus grande activité se trouve dans une commissure transverse, la commissure tritocérébrale, ainsi appelée à cause de son étroite relation phylogénétique avec le cerveau. Une étude plus approfondie a montré en outre que la plus grande activité se trouve non pas dans la commissure elle-même, mais dans deux nerfs issus de la commissure et aboutissant à des muscles voisins [9, 10]. Chez la crevette Penaeus, chaque nerf s'aplatit avant d'atteindre le muscle en une lame qui s'applique sur un sinus sanguin; les extraits de cette plaque ont un pouvoir chromactif très élevé; chaque plaque contient un réseau de fines terminaisons nerveuses qui apparemment n'innervent aucun organe. Il a donc semblé raisonnable de suggérer qu'elles se sont spécialisées pour la libération d'hormones chromactives dans les sinus sanguins adjacents et qu'elles peuvent emmagasiner ces substances aussi bien qu'en contrôler la libération. Ceci constitue, chez les crustacés, la première démonstration anatomique et physiologique d'un système neurohormonal, bientôt suivie d'un travail parallèle sur la glande du sinus et d'autres organes.

Beaucoup de travailleurs, à la recherche d'une hormone inhibitrice de la mue chez les crustacés, ont indiqué que l'ablation des pédoncules oculaires accélère les mues, mais que l'ablation élective de la glande du sinus est sans action. En 1951, paraissent de nombreux articles indiquant tous que certaines hormones de la glande du sinus ne sont pas produites par cet organe, mais dans un groupe de cellules auquel on avait précédemment donné le nom d'organe X. Les substances fabriquées dans les cellules de l'organe X passent à la glande du sinus le long des axones. Enami [11] et un peu plus tard Bliss et Welsh [12] démontrent que la glande du sinus chez certains crabes n'est en fait pas beaucoup plus que l'ensemble des élargissements terminaux de fibres nerveuses provenant des corps cellulaires de l'organe X et que le complexe organe X-glande du sinus offre certaines ressemblances avec le système hypothalamo-hypophysaire des chordés. Avec cette découverte, commence une nouvelle époque de l'endocrinologie des crustacés et, à l'heure actuelle, de nombreux travaux étudient le système neurosécréteur très complexe qui existe sûrement chez les crustacés.

Alexandrowicz décrit de nombreux réseaux de terminaisons nerveuses se trouvant au voisinage immédiat de sinus sanguins, et démontre que certains de ces organes contiennent des substances physiologiquement actives, agissant sur le rythme cardiaque [13, 14]. A l'heure actuelle, cependant, les seuls organes connus pour libérer des hormones chromactives sont les glandes du sinus et les organes post-commissuraux. Les effets qui suivent l'injection d'extraits totaux de ces organes suggèrent qu'ils contiennent des substances significativement différentes. L'injection d'un extrait de glande du sinus à une crevette privée d'yeux provoque la concentration des petits chromatophores rouges sur le corps et la queue. Les grands chromatophores rouges se condensent eux aussi, mais à un moindre degré, et les chromatophores blancs ne sont généralement pas affectés. Par contre, l'injection d'extraits des organes post-commissuraux condense au maximum les grands chromatophores rouges, les petits chromatophores rouges à un degré presque nul et les blancs à un degré moyen; mais provoque une extension maximum des pigments rouges des chromatophores de la queue. Cette différence dans les effets des injections d'extraits est très frappante (planche II). L'un rend la crevette presque transparente, avec ses dessins au maximum de netteté; l'autre la rend uniformément sombre.

NOMBRE D'HORMONES CHROMACTIVES

La comparaison des injections d'extraits de la glande du sinus et de l'organe post-commissural suggère qu'il peut y avoir beaucoup d'hormones, et les expériences [5] montrent que, par extraction à l'alcool, on peut séparer presque complètement à partir de la commissure du Crangon deux substances. L'une, soluble dans l'alcool, concentre les chromatophores du corps mais n'affecte pas ceux de la queue; l'autre, insoluble dans l'alcool, assombrit à la fois le corps et la queue. Ces expériences ainsi que d'autres, nous donnent des raisons de penser qu'il existe plus d'une hormone affectant les migrations de pigments chez les crustacés, et que certaines substances dispersent les pigments tandis que d'autres les concentrent. On a pu vérifier cette conception de l'action hormonale par des expériences récentes de séparation, utilisant la chromatographie sur papier et l'électrophorèse sur papier, que poursuivent actuellement l'auteur et ses collaborateurs [16].

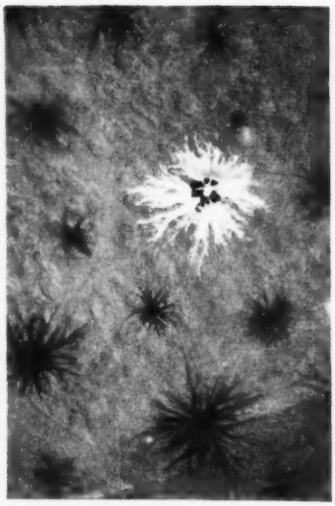
Dans une expérience typique d'électrophorèse sur papier, on fait des extraits dans l'eau de glandes du sinus ou d'organes post-commissuraux

et l'on applique la solution obtenue au centre d'une bande de papier. Après électrophorèse, on sèche le papier et on le découpe en de nombreux morceaux transversaux; on extrait chacun de ces morceaux à l'eau de mer et l'on injecte les extraits à des animaux privés d'yeux. Les changements de couleur qui en résultent donnent une indication sur la présence d'hormones actives aux différents points le long de la bande de papier et montrent la possibilité de la séparation de différentes hormones, ayant chacune un effet spécifique (figure 18). Par exemple, les extraits d'organes post-commissuraux ont fourni après électrophorèse à *p*H 7,8 (*a*) une substance «A» électropositive qui concentre tous les pigments; (*b*) une substance «B» électronégative qui concentre les pigments blancs ainsi que les pigments jaunes et rouges des grands chromatophores rouges, mais qui étale les pigments des autres chromatophores du corps et de la queue; et (*c*) des substances plus mobiles, chacune spécifique d'un type de pigment. La substance «B» semble être antagoniste de la substance «A» et, dans les extraits totaux des organes post-commissuraux, c'est l'effet «A», ou l'effet «B» qui prédomine.

Il n'est pas certain que toutes les substances séparées par électrophorèse soient en fait des hormones fonctionnelles normales dans le sang. Certains faits suggèrent que les méthodes grossières d'extraction adoptées dans les premières expériences peuvent faire passer en solution des substances, présentes dans les organes neurosécréteurs et agissant sur la migration des pigments par injection, mais qui normalement ne seraient pas libérées dans la circulation. Nous avons, par exemple, trouvé que les organes post-commissuraux et les glandes du sinus de crustacés ainsi que les corpora cardiaca d'insectes fournissent des extraits contenant la substance «A» qui agit sur plusieurs pigments et possède un poids moléculaire relativement élevé. Les extraits contiennent une grande quantité de cette substance, et il est tentant de la regarder comme une hormone fonctionnelle des migrations de pigments. Pourtant, si nous conservons des organes post-commissuraux dans l'eau et les excitons électriquement, nous ne trouvons pas ensuite cette substance dans l'eau, bien que d'autres substances actives y soient présentes. Les substances «A» et «B» ne passent pas à travers une membrane de cellophane que traversent les autres substances chromactives, présentes dans les extraits totaux (figures 19, 21 et 22). Les méthodes par électrophorèse révèlent aussi des substances mobiles affectant chacune un seul pigment, à une certaine distance du point d'application de l'extrait sur la bande de papier, et il semble possible que ce soient, en fait, les hormones actives du sang, les substances moins mobiles à effets multiples sur le système de chromatophores, représentant plutôt des précurseurs. Il est intéressant de constater que, chez les mammifères, les extraits du lobe postérieur de l'hypophyse considéré également comme un organe neurosécréteur, contiennent des peptides de poids moléculaire relativement bas ayant une action soit oxytocique soit vasopressive mais pas les deux, et aussi un complexe protéique qui possède à la fois les deux effets. Il a été suggéré que ce complexe est une «molécule mère» des substances actives plus légères présentes [17].

Chez les crustacés, on a aussi étudié par une autre méthode cette existence possible de précurseurs dans les corps cellulaires du système neurosécréteur. Au cours de ses études classiques sur la glande du sinus, Hanström avait éliminé l'organe X comme source importante des hormones chromactives, du fait que la portion du pédoncule oculaire où ils se trouvent n'a qu'une faible capacité chromactive. Pourtant, ce sont les terminaisons épaissies de fibres issues de l'organe X qui constituent principalement la glande du sinus, si riche en substances actives; il est donc surprenant que les extraits d'organe X soient si peu actifs. En fait, seuls les extraits frais de l'organe X sont inactifs, mais bouillis ou traités à l'alcool ils peuvent fournir par injection des effets très marqués (figure 20). Il est possible que l'organe X contienne des substances actives sous une forme combinée, peut-être liées à quelque autre substance et de ce fait inactivées, et que l'ébullition puisse rompre la liaison et libérer la molécule active. Un tel concept serait en accord avec les différentes réactions de coloration des granules que l'on trouve dans les corps cellulaires de l'organe X, le long des axones et dans les terminaisons dilatées des fibres de la glande du sinus. Il n'est peut-être pas trop tôt pour formuler l'hypothèse que les hormones chromactives peuvent s'emmagasiner sous une forme inactive dans les corps cellulaires des fibres neurosécrétrices. Par la suite, cette forme inactive pourrait se transformer en une forme active si elle se trouve introduite artificiellement dans le sang, même si normalement elle n'y passe pas. Cette dernière substance serait présente dans les fibres et leurs terminaisons. Finalement, une action enzymatique pourrait scinder cette prohormone en substances actives de faible poids moléculaire ayant chacune des effets spécifiques

Planche I



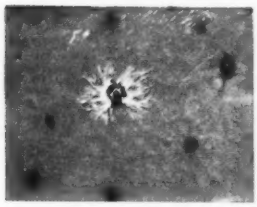


FIGURE 1 (*à gauche*) – *Groupe de chromatophores en extension (rouges, grands et petits, et blancs).* (× 50)

FIGURE 2 (*ci-dessus*) – *Quelques-uns des chromatophores de la figure* 1, *après condensation des pigments.* (× 50)

FIGURE 3 (*à droite*) – *Vue dorsale du céphalothorax de* Leander serratus, *montrant les trois types de chromatophores de la figure* 1. (× 4)

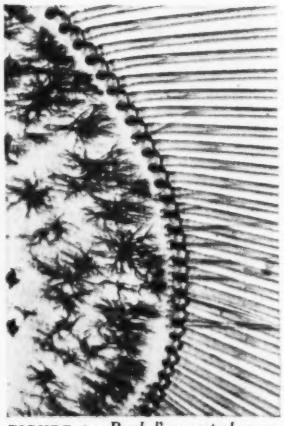


FIGURE 4 – *Bord d'un uropode montrant tous les pigments modérément dispersés (cf. figure* 12). (× 25)

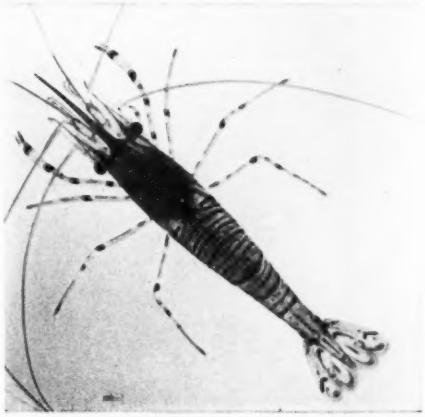


FIGURE 5 – Leander serratus, *crevette européenne commune, récemment placée sur un fond noir. Les pigments sombres ont une expansion modérée mais non maximum. (Grandeur naturelle)*

FIGURE 6 – *Bord d'un uropode. Pigments des chromatophores périphériques dispersés, ceux des autres concentrés.* (× 50)

FIGURE 7 – *Chromatophore d'un uropode dans lequel la concentration du pigment a déjà commencé. Le pigment s'est retiré des plus fins prolongements qui ne sont donc plus visibles.* (× 200)

PLANCHE II

FIGURE 8 – *Individu privé d'yeux et injecté avec un extrait de glande du sinus (une glande dans 0,05 ml d'eau de mer).*

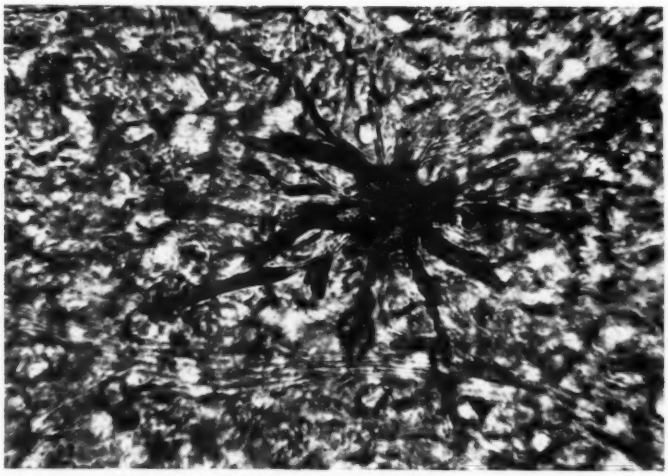


FIGURE 9 – *Chromatophore d'un uropode d'un animal injecté avec un extrait de glande du sinus. Les pigments sont très concentrés et le pigment rouge, viré au bleu, a quitté le chromatophore, déterminant un bleuissement de la queue.* (× 300)

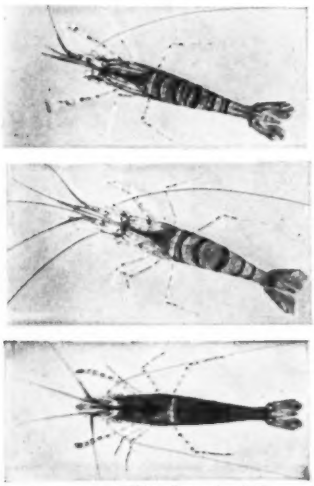


FIGURE 10 – *Effets d'extraits de l'organe post-commissural.* (a) *Eau de mer (contrôle);* (b) *extrait d'organe de Squilla;* (c) *extrait d'organe de Leander. Les deux extraits condensent les grands chromatophores rouges et les blancs; l'extrait de Leander étale, en plus, ceux de la queue.*

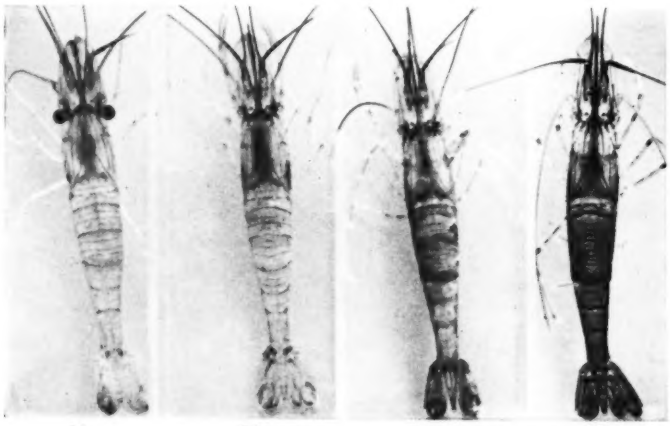


FIGURE 11 – *Comparaison entre les effets d'extraits de la glande du sinus et de l'organe post-commissural.* (a) *Animal injecté avec 0,05 ml d'eau de mer;* (b) *injecté avec 0,05 ml d'extrait dans l'eau de mer de deux glandes du sinus;* (c) *injecté avec un extrait similaire de deux organes post-commissuraux;* (d) *injecté avec 0,05 ml d'eau de mer. Les animaux sans yeux en ont été privés quatre semaines avant l'injection.*

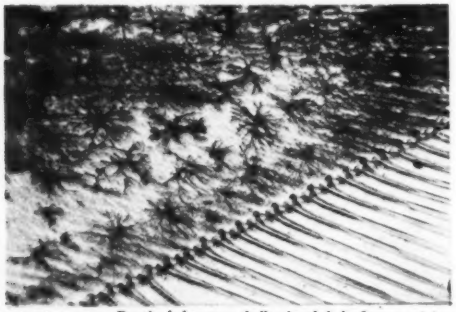


FIGURE 12 – *Partie de la queue de l'animal de la figure* 10(c), *montrant la dispersion maximum des pigments de la queue. Comparer avec les figures* 4, 6 *et* 7. (× 20)

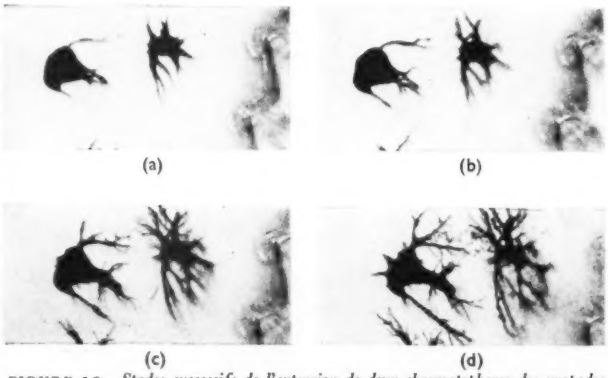


FIGURE 13 – *Stades successifs de l'extension de deux chromatophores des uropodes.* (× 100)

PLANCHE III

FIGURE 14 – *Œil gauche et pédoncule oculaire de* Leander serratus *vus de dessus quelques minutes après l'ablation. Pour les structures visibles, légende identique à celle de la figure 23. On a des raisons de penser que la disposition et la forme des organes nerveux et neurosécréteurs du pédoncule oculaire diffèrent légèrement entre les formes méditerranéenne et anglaise de l'espèce; individu pris à Naples.* (× 30)

FIGURE 15 – *Coupe transversale de la plaque post-commissurale de* Penaeus brasiliensis, *montrant qu'elle s'applique le long de la paroi d'un sinus sanguin et s'y attache et qu'elle contient des structures qui se colorent à l'azocarmin.* (× 150)

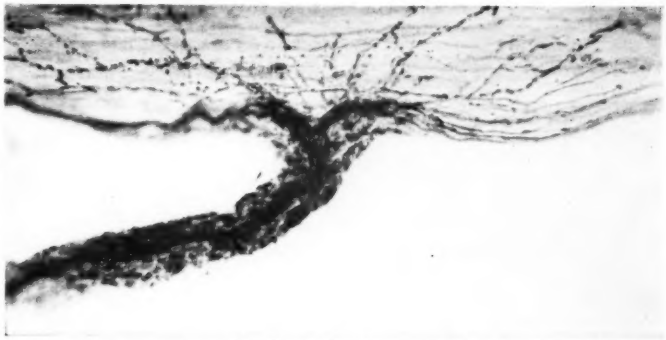


FIGURE 16 – *Préparation au bleu de méthylène d'une partie de la commissure et de la base de l'organe post-commissural de* Leander serratus. *De minces fibres neurosécrétrices et des granules sont visibles dans l'épinèvre.* (× 70)

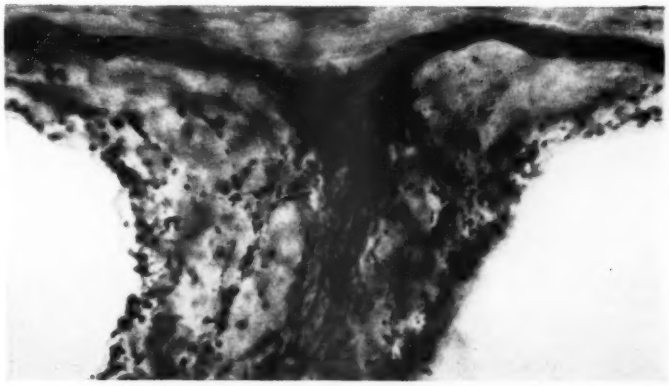
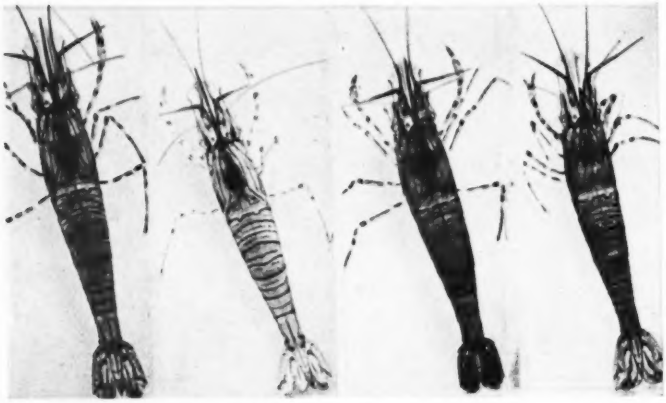


FIGURE 17 (*à droite*) – *Partie de la figure 16 à un plus fort grossissement. On peut voir des granules périphériques et un faisceau central de fibres neurosécrétrices.*

Expérience d'électrophorèse. 3 mA. 16 heures à pH 7,49

− 5	− 4	− 3	− 2	− 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5
Substance concentrant les petits chromatophores rouges	Sans effet	Sans effet	Sans effet	Substance concentrant les pigments	Substance dispersant les pigments	Sans effet	Substance concentrant les petits chromatophores rouges	Sans effet	Sans effet	Sans effet



− 2 − 1 0 + 1

FIGURE 18 – *Séparation par électrophorèse des substances chromactives d'un extrait de dix organes post-commissuraux. Dans les conditions de cette expérience, une substance qui étale les chromatophores du corps et de la queue reste au point d'application légèrement déplacée vers l'anode, mais une substance qui concentre les pigments des chromatophores rouges grands et petits et ceux des chromatophores blancs se déplace de 2 à 3 cm vers la cathode. On a aussi trouvé des substances, plus mobiles, qui agissent seulement sur les petits chromatophores rouges.*

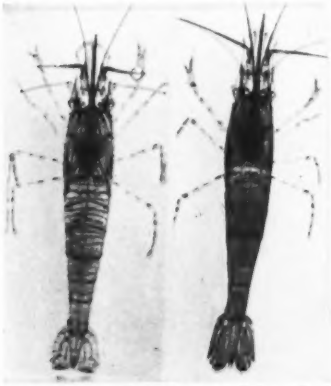


FIGURE 19 – *Séparation par dialyse: l'animal du côté gauche a reçu une demi-heure auparavant la fraction d'un extrait post-commissural qui est passée à travers une membrane de cellophane. L'animal du côté droit a reçu la fraction qui n'a pas traversé la membrane.*

(a) (b) (c) (d)

FIGURE 20 – *Activation des extraits de l'organe X.* (a) *Animal injecté avec un extrait d'organe X;* (b) *animal injecté avec un extrait bouilli d'organe X;* (c) *animal injecté avec un extrait non-traité d'organe X;* (d) *animal injecté avec un extrait d'organe X dénaturé à l'alcool.*

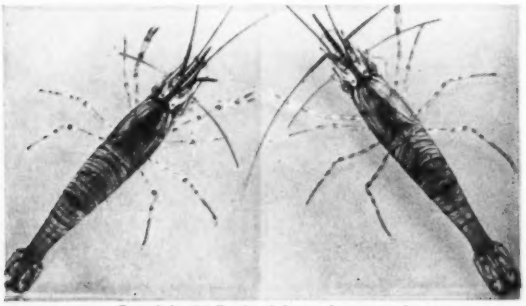


FIGURE 21 – *On a injecté à l'animal de gauche trente minutes auparavant la fraction d'un extrait d'organe X qui a passé à travers une membrane de cellophane. L'animal de droite a reçu la fraction qui n'a pas traversé la membrane.*

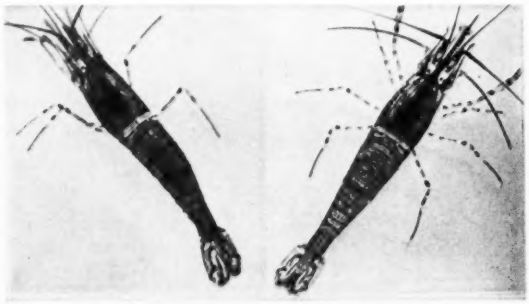


FIGURE 22 – *Analogue à la figure 21, mais en utilisant la fraction* − 1 *(voir figure 18) après électrophorèse d'un extrait de glande du sinus. Cette substance ne traverse pas une membrane de cellophane.*

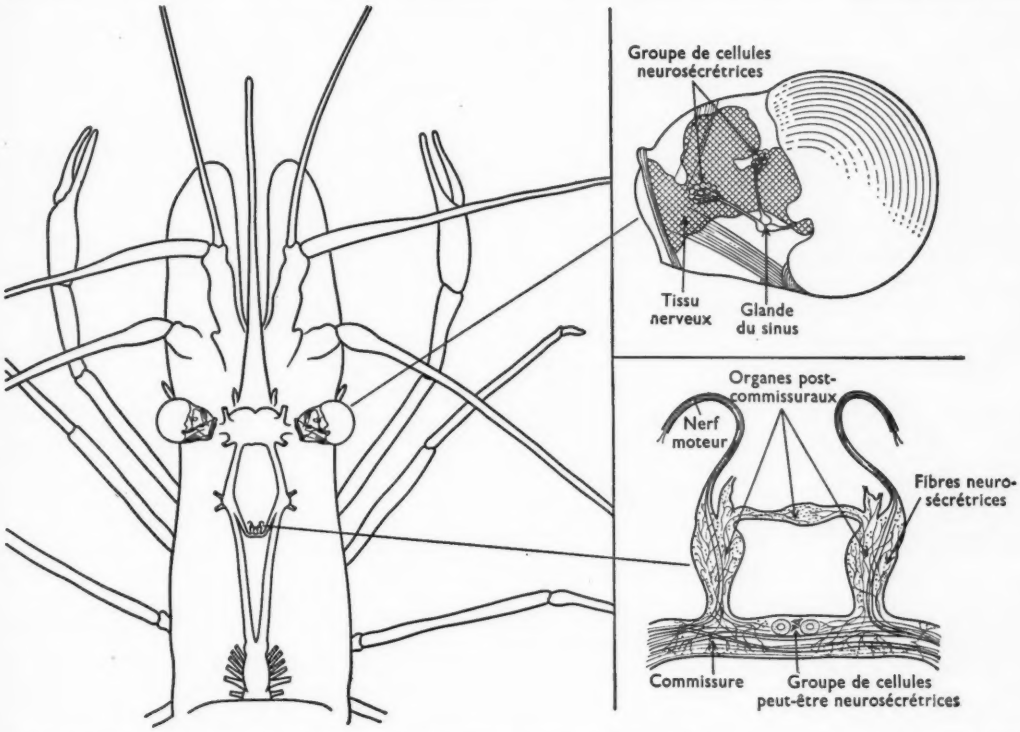


FIGURE 23 – *Position et aspect général des systèmes neurosécréteurs mentionnés dans le texte (comparer avec la planche III). La disposition donnée pour les fibres neurosécrétrices ne s'applique qu'à* Leander serratus *et diffère pour les autres genres. On a décrit diversement les deux groupes de cellules neurosécrétrices du pédoncule oculaire comme organes X dans la littérature; c'est le groupe proximal qui est pris comme organe X dans le présent article.*

sur chacun des pigments pris en particulier. Ce concept cadre avec l'état actuel de nos connaissances et l'on peut espérer que l'électrophorèse et d'autres moyens d'étude pourront confirmer, ou infirmer, cette hypothèse de travail.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les expériences d'électrophorèse et de dialyse décrites ci-dessus montrent la possibilité de la présence d'hormones antagonistes dans les systèmes neurosécréteurs. Les organes post-commissuraux semblent contenir à la fois des hormones qui provoquent l'éclaircissement du corps et d'autres son assombrissement, que l'on peut séparer par des moyens physiques. Dans la glande du sinus de Leander, il semble possible qu'il y ait une séparation anatomique des différentes hormones chromactives; ici, en effet, la glande du sinus comprend trois parties distinctes dont chacune est l'aboutissement de certaines fibres nerveuses distinctes et l'on peut séparer ces trois parties et en faire des extraits distincts. La partie qui reçoit ses fibres de l'organe X semble contenir une substance qui concentre le pigment des chromatophores blancs, alors que le reste de la glande du sinus contiendrait une substance qui étale le pigment blanc. S'il en est ainsi, il est vraisemblable que les différentes fibres neurosécrétrices se rendant à la glande du sinus y apportent des substances différentes. Ceci pose un problème intéressant: celui de savoir comment se réalise le contrôle de la libération des substances spécifiques par les organes neurohémaux. Bliss et Welsh ont avancé la théorie que les cellules neurosécrétrices pourraient ressembler à des neurones efférents dans la mesure où elles déclenchent la libération de leurs propres produits comme un neurone efférent contrôle la libération de l'acétylcholine qu'il contient. Cependant, cette intéressante théorie n'a pas encore reçu de support expérimental, bien que l'absence d'innervation de la glande du sinus, sinon par des fibres neurosécrétrices rende cette suggestion valable. Si les fibres neurosécrétrices agissent ainsi comme fibres

nerveuses pour fournir l'impulsion qui déclenche la libération de leur contenu, il existe alors une ressemblance très étroite entre les cellules neurosécrétrices et les neurones typiques.

Nous nous trouvons en face de la difficulté d'une définition précise du mot neurosécrétion, utilisé, dans le passé, par les différents auteurs dans des sens assez différents. Nous avons, d'une part, la définition histologique utilisée par Scharrer [18] dont le travail précis et détaillé a tant contribué à faire accepter le concept général de neurosécrétion. Il maintient que l'on ne peut utiliser le terme que dans les cas où l'on peut fournir, par des techniques de coloration appropriées, des preuves visibles d'une sécrétion active par les cellules nerveuses. Mais nous avons aussi le critère fonctionnel utilisé par Alexandrowicz qui considère les fibres apparemment efférentes et n'innervant aucun organe comme neurosécrétrices de ce fait. On l'utilise ici comme un terme approprié pour décrire la production et la libération de substances hormonales dans le sang, par le système nerveux central des crustacés.

Un tel mécanisme de régulation combine les actions nerveuses et hormonales; il est donc logique de rechercher les avantages possibles d'un mécanisme neurosécréteur sur des mécanismes purement nerveux ou hormonaux. Une perte de vitesse dans la réponse est inévitable si les chromatophores sont sous la dépendance de substances véhiculées dans le sang, au lieu de posséder une innervation directe comme chez les céphalopodes, les téléostéens ou les reptiles. Mais l'on doit s'attendre à ce que certains avantages du mécanisme neurosécréteur viennent contre-balancer la perte de vitesse.

La simplicité anatomique paraît un avantage de la neurosécrétion sur le contrôle nerveux direct. Nous avons vu que les crustacés réalisent des modifications de couleur et de dessins très compliquées à l'aide d'un mécanisme de structure relativement simple, malgré sa possible complexité biochimique. Le contrôle nerveux de colorations aussi complexes nécessiterait un système compliqué de fibres alors que le nombre relativement petit des fibres des organes neurosécréteurs suffit évidemment pour sélectionner et libérer les hormones qui agissent séparément sur les différents pigments.

Les régulations nerveuse et hormonale ont chacune leurs avantages spéciaux et leurs limites. La régulation nerveuse est particulièrement adaptée à fournir des modifications localisées et immédiates, comme les mouvements musculaires qui doivent être rapides mais n'ont généralement pas besoin de se maintenir longtemps. Au contraire, les processus de croissance et de développement nécessitent une coordination étendue de modifications chimiques qui n'ont pas besoin d'être instantanées, mais doivent se maintenir pendant un temps considérable; ces modifications sont effectivement sous la dépendance de systèmes endocriniens. Il est possible qu'une combinaison des mécanismes nerveux et hormonal soit l'idéal pour assurer des modifications rapides ainsi que durables. L'accumulation d'hormones dans un système neurosécréteur permet une stimulation lente et prolongée des organes cibles, sans fatigue du système activant, et, de plus, le mécanisme est suffisamment labile pour permettre des modifications soudaines dans l'intensité et le choix de la libération d'hormones. A ce point de vue, le mécanisme neurosécréteur est particulièrement adapté à fournir des mouvements adaptatifs brusques, venant se superposer aux modifications rythmiques lentes qui caractérisent les changements de couleurs des crustacés.

Les photographies illustrant cet article ont été prises avec un appareil fourni par la *Nuffield Foundation*, à laquelle l'auteur exprime ses vifs remerciements.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Brown, F. A., Jr. *Sci. Amer.*, **190**, 34, 1954.
[2] Perkins, E. B. *J. exp. Zool.*, **50**, 71, 1928.
[3] Koller, G. *Z. vergl. Physiol.*, **8**, 601, 1928.
[4] Hanström, B. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **21**, 584, 1935.
[5] Gabe, M. *Année Biol.*, **30**, 1, 1954 (et communication personnelle).
[6] Brown, F. A., Jr. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **19**, 327, 1933.
[7] Knowles, F. G. W. *Pubbl. Staz. zool. Napoli*, **17**, 174, 1939.
[8] Brown, F. A., Jr. *Quart. Rev. Biol.*, **19**, 118, 1944.
[9] Knowles, F. G. W. *Nature, Lond.*, **167**, 564, 1951.
[10] *Idem. Proc. roy. Soc.*, **141**, 248, 1953.
[11] Enami, M. *Biol. Bull., Wood's Hole*, **101**, 241, 1951.
[12] Bliss, D. E. et Welsh, J. H. *Ibid.*, **103**, 157, 1952.
[13] Alexandrowicz, J. S. *J. Mar. biol. Ass. U.K.*, **31**, 563, 1952–53.
[14] Alexandrowicz, J. S. et Carlisle, D. B. *Ibid.*, **32**, 175, 1953.
[15] Brown, F. A., Jr. et Klotz, I. M. *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, **64**, 310, 1947.
[16] Carlisle, D. B., Dupont-Raabe, M. et Knowles, F. G. W. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **240**, 665, 1955.
[17] Irving, G. W., Jr. et du Vigneaud, V. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **43**, 273, 1943.
[18] Scharrer, E. *Pubbl. Staz. zool. Napoli*, **24**, Suppl., 1954.

Revue des livres

BIOGRAPHIE

THE ROYAL SOCIETY. *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, Vol. IX. Pp. 264. The Royal Society, Londres. 1954. 30s.

Comme le fit remarquer récemment Sir Henry Dale ici même, les souvenirs intimes de savants que l'avenir n'oubliera pas ont grande valeur pour les futurs historiens scientifiques. Parmi ces souvenirs, on remarque tout de suite les bulletins nécrologiques officiels des Membres de la *Royal Society* publiés maintenant annuellement par la Société en un volume séparé. Préparés avec le plus grand soin et utilisant toutes les sources possibles, ces bulletins seront inestimables quand les documents auront été perdus et la génération disparue. Mais ils ont aussi une valeur actuelle outre celle de rendre hommage aux savants ayant terminé leur œuvre. On y trouvera dès maintenant beaucoup de renseignements d'intérêt historique, car on sait que la jeunesse est la partie la plus féconde de la vie, et ces mémoires renferment nombre d'exposés clairs et brefs de découvertes et de théories, révolutionnaires à l'époque, mais qui sont devenues courantes de nos jours. La notice de Sir Henry Tizard, pour prendre un exemple au hasard, sur N. V. Sidgwick contient, en plus d'une foule de détails personnels, un compte rendu passionnant du développement de la théorie électronique de la valence.

L'importance de ces excellents volumes comme ouvrages de référence mérite d'être mieux connue.

TREVOR I. WILLIAMS

BIOLOGIE

WHITE, M. J. D.: *Animal Cytology and Evolution* (2e édition). Pp. XIV + 454. Cambridge University Press, Londres. 1954. 45s.

La première édition du livre parut en 1945 et fut immédiatement acclamée comme la meilleure étude de la constitution et du comportement des chromosomes publiée en anglais depuis la parution de *Recent Advances in Cytology* de Darlington en 1937. Cette nouvelle édition est encore plus remarquable du fait qu'elle a été presque entièrement rédigée à nouveau. Le sujet principal est la relation entre le nombre et la constitution des chromosomes et l'évolution, mais le terrain traité est un peu plus vaste et prépare aux études toujours en progrès sur la nature biochimique des chromosomes et aux travaux sur le mécanisme de la division mitotique et méiotique.

L'envergure du champ de documentation de M. White est un des traits remarquables de l'œuvre. Nos connaissances des changements évolutifs des chromosomes de la Drosophile ont atteint ces dernières années un niveau et une précision inouïs. L'auteur fait un exposé complet des recherches déjà classiques de Dobzhansky et de ses collègues, mais inclut aussi les études plus récentes et peut-être moins connues du groupe de chercheurs texiens sous la direction de Patterson et de Stone. La Drosophile n'est d'ailleurs pas le seul sujet étudié. Les travaux personnels importants de M. White sur le polymorphisme des chromosomes chez les sauterelles américaines font un apport très appréciable sur un groupe différent d'organismes et élargit considérablement notre notion sur la nature des changements apportés par l'évolution. On trouve aussi un compte rendu extrêmement complet des études de cytologie évolutive sur tous les groupes animaux. Le livre sera indispensable, non seulement comme ouvrage de référence, mais par les suggestions très claires et presque toujours plausibles du sens à attacher aux constatations diverses. Il se lira donc avec plaisir.

C. H. WADDINGTON

BOTANIQUE

LOOMIS, W. E., publié sous la direction de: *Growth and Differentiation in Plants*. Pp. VIII + 458. Iowa State College Press, Ames. 1953. 60s.

Nous avons ici la seconde des monographies publiées sous le patronage de l'*American Society of Plant Physiologists* dont le but est d'atteindre un public technique plus vaste que celui des spécialistes. L'ouvrage ne renferme donc pas exclusivement des découvertes récentes, mais passe en revue les théories et essaie d'en prévoir les développements. Le terrain traité par les dix-huit articles est extrêmement vaste, allant de l'élongation de la fibre de coton aux champs bioélectriques, à la morphogenèse et à la croissance maladive. Certains chapitres, en particulier celui des courbes de croissance, sont très élémentaires; d'autres demandent beaucoup plus de connaissances préalables, mais avec vingt-deux auteurs ces différences étaient à prévoir.

L'étude de la croissance végétale en est encore à la phase descriptive, comme il ressort du chapitre sur ses «mathématiques élémentaires» où la multiplication vaguement exponentielle des jeunes cellules est appelée, sans qu'on sache pourquoi, accroissement logarithmique. Mais l'ensemble des faits connus et des idées essentielles est exposé avec une admirable clarté. En limitant strictement l'emploi de termes techniques et ésotériques, les auteurs ont fait œuvre très utile et atteindront certainement dans une large mesure le but qu'ils se sont fixés. Le prix élevé seul y mettra obstacle.

W. O. JAMES

CHIMIE

BADGER, G. M.: *The Structures and Reactions of the Aromatic Compounds*. Pp. XIV + 456. Cambridge University Press, Londres. 1954. 63s.

Le nombre immense de composés aromatiques connus explique peut-être la place disproportionnée que leur description et préparation occupent dans la plupart des manuels. Leur interprétation théorique est en général beaucoup moins claire et disparaît sous la masse de détails empiriques. On avait donc grand besoin d'un ouvrage comme celui-ci pour débarrasser l'ensemble des problèmes de la chimie aromatique de toutes les additions gênantes, les poser en termes simples et les discuter à fond. Les deux premiers chapitres traitent de la question du benzène et de sa solution théorique qui conduit à définir un composé aromatique comme un composé cyclique doué d'une grande énergie de résonance et dont tous les atomes du cycle font partie d'un seul système conjugué. M. Badger considère ensuite les propriétés typiques des carbures aromatiques: réactions de substitution et d'addition, réaction Diels-Alder, spectres d'absorption et de fluorescence, photo-oxydation et photo-dimérisation, activité optique. Un chapitre particulièrement utile traite de l'effet des substituants et rassemble des faits disséminés dans toute la littérature chimique.

Le livre s'adresse aux étudiants avancés mais fournira aussi aux spécialistes une bonne vue d'ensemble de la théorie aromatique. Il est clairement écrit, bien présenté et complété

d'index de noms et de sujets. On regrette seulement, tout en comprenant les difficultés d'impression et de publication, que le délai de parution ait été si long, car la littérature citée s'arrête presque dans tous les cas en 1951 et la préface date de 1952.

E. J. HOLMYARD

BELLAMY, L. J.: *The Infra-red Spectra of Complex Molecules*. Pp. xv + 321. Methuen and Company Limited, Londres. 1954. 35s.

En dépit du développement remarquable et rapide de la spectroscopie à l'infra-rouge en chimie physique et organique, il existe encore peu de guides pour le chercheur devant utiliser cette technique sans expérience ou connaissance appréciable de la théorie. Tous les textes sur la question éveilleront donc un vif intérêt. Ce livre traite à fond d'un aspect particulier de l'étude des molécules complexes, à savoir la découverte de leur structure au moyen de leur spectre d'absorption infra-rouge. La méthode est basée sur le fait que certains groupements atomiques engendrent des fréquences de vibration d'environ la même ampleur dans des molécules différentes, quelle que soit la constitution moléculaire restante. On peut donc identifier ces groupes par les bandes d'absorption apparaissant dans des positions caractéristiques. Et, puisque les spectres d'absorption sont maintenant mesurables en employant de très petites quantités de produit, nous avons là une méthode pleine de possibilités pour l'étude de corps synthétiques et naturels qui a déjà remporté grand succès dans certains cas.

Le livre passe en revue et résume de façon complète tous les rapports importants découverts jusqu'ici, traitant en détail des différents types de liaison carbone-hydrogène dans les hydrocarbures, du nombre varié de groupes carbonylés et de liaisons azote-hydrogène et des diverses catégories de cycles. Avec sa bibliographie développée, il sera très utile à tous ceux que la question intéresse directement. L'auteur a aussi essayé de déterminer les circonstances opposées à l'emploi des règles de corrélation. C'est un point important vu la diffusion croissante de la méthode. De nombreux facteurs, certains encore incompris, peuvent causer un déplacement des bandes-clés et le chercheur avisé devra tenir compte de ce fait en analysant ses résultats. Ainsi, on pourra avoir des doutes sur certaines interprétations de l'auteur dans ses diagrammes. Parmi les sources de difficultés, citons un problème peu étudié jusqu'ici: l'intensité intrinsèque de la bande vibratoire d'un groupe donné peut varier considérablement d'une molécule à l'autre.

Le prix est élevé considérant la taille du volume et, bien que trop poussé pour l'étudiant, l'ouvrage rendra grand service au spécialiste et à l'organicien industriel.

H. W. THOMPSON

BENTLEY, K. W.: *The Chemistry of the Morphine Alkaloids*. Pp. 433. Oxford University Press, Londres. 1954. 50s.

Qu'un ouvrage de plus de 400 pages soit nécessaire pour présenter l'ensemble des recherches sur les alcaloïdes morphiques seuls prouve assez l'étendue des travaux sur les alcaloïdes. La grande expérience de l'auteur lui a permis d'incorporer dans cette monographie un très grand nombre d'études faites ces dernières dizaines d'années sur la constitution de la morphine et des corps apparentés. La synthèse de ces composés a été l'aboutissement et, dans une certaine mesure, la conclusion de ces efforts.

La subdivision en 28 chapitres aide à apprécier la richesse des matériaux présentés. L'historique des recherches sur la morphine, les réactions de dégradation et de transposition des alcaloïdes et leur biosynthèse et synthèse complète *in vitro* sont exposés en détail. Le lecteur désirant des renseignements spéciaux sur ce groupe les trouvera sans difficulté et les renvois nombreux aux articles originaux rendront service.

En résumé, l'œuvre de Bentley sera indispensable à tous ceux qui s'intéressent à ce chapitre de la chimie. C'est une preuve de l'esprit d'enquête réfléchie que les savants de ces dernières dizaines d'années ont montré dans l'étude des alcaloïdes morphiques. L'avant-propos est de Sir Robert Robinson, l'un des pionniers de la recherche sur ces composés naturels.

P. KARRER

BERRY, A. J.: *From Classical to Modern Chemistry*. Pp. xii + 251. University Press, Cambridge. 1954. 25s.

Ce livre captivera dès les premières pages et retiendra l'intérêt jusqu'au bout. Il débute par une étude historique de l'importance de certaines théories chimiques et fait ressortir que les réactions ne seront jamais expliquées de façon véritablement satisfaisante en termes de mécanique. Les conceptions mécaniques, comme la théorie de la tension de Baeyer, ont certes rendu grand service, mais elles sont incapables d'expliquer finalement les propriétés spécifiques des corps. Même la théorie atomique et moléculaire classique, essentielle au développement de la chimie au dix-neuvième siècle, se révéla insuffisante à la fin et l'auteur nous rappelle que la plus grande partie de la physique conçue à la même époque était basée sur l'idée de la continuité de la matière.

Les principales questions traitées sont: les difficultés de la théorie de la chaleur, certains aspects de l'électricité et de l'électrolyse classique, optique physique et chimie, taille des molécules, chimie analytique, formules chimiques, problèmes de valence, de radicaux et de constitution; finalement, chimie cinétique. En traitant ainsi de points donnés plutôt que de périodes, M. Berry a mis avantageusement en relief l'évolution du savoir, attirant l'attention sur l'essentiel plutôt que sur les à-côtés et améliorant notre connaissance de l'un et des autres.

L'ouvrage fait ressortir l'influence exercée par la physique sur la chimie et intéressera les spécialistes de ces deux sciences. La présentation est du niveau habituel à la Cambridge University Press; les index sont très complets.

E. J. HOLMYARD

ECKEY, E. W.: *Vegetable Fats and Oils*. Pp. ix + 836. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 132s.

Ce volume succède à celui, du même titre et bien connu, de G. S. Jamieson, paru pour la première fois en 1938. Le plan est différent, mais sur certains points le remaniement ne semble pas avoir apporté d'amélioration notable. C'est une étude complète et systématique de l'ensemble des graisses végétales connues jusqu'à ce jour avec leurs caractères généraux et, si possible, leur composition détaillée, leurs propriétés spécifiques et, lorsqu'elle a un intérêt technique, leur utilisation industrielle courante.

Les sept premiers chapitres exposent l'aspect physique et chimique de ces graisses en général, leur valeur nutritive, leur formation et passent en revue les méthodes d'analyse. L'étude est assez inégale et manque parfois de cohésion. La composition des graisses est très bien présentée, mais leur

biochimie et leur formation sont insuffisamment développées. Les pages sur la conversion possible du sucre en graisse ont trait à d'anciens travaux et ne tiennent pas compte de plusieurs apports récents.

La majeure partie du livre est, comme dans le précédent, justement consacrée à la description de graisses individuelles. Jamieson les classait par ordre alphabétique, les divisant d'abord grossièrement, selon l'habitude de l'époque, en huiles non-séchantes, demi-séchantes et séchantes. Cette distinction n'est pas très satisfaisante et il est préférable de grouper les graisses selon les principaux acides qu'elles renferment. On découvre alors les points communs entre les graisses de graines appartenant souvent à des familles différentes. Eckey est même allé plus loin puisqu'il a classé les graisses végétales selon leur strict ordre botanique. Dans l'état actuel de nos connaissances, cela semble compliquer plutôt que simplifier la relation apparente de la composition des graisses végétales avec la classification. Les rosacées, euphorbiacées et cucurbitacées, par exemple, ont par les graisses de leurs graines des traits communs mais appartiennent à des ordres différents: rosées, géraniées, campanulées. Inversement, les géraniées comprennent non seulement les euphorbiacées (dont certaines espèces peuvent donner des graisses riches en acide linolénique, éléostéarique, ricinoléique, etc.) mais aussi les linacées (huile de lin), les rutacées (huiles de citrus, riches en acides palmitique et linoléique), les méliacées (dont les graines renferment souvent une grande proportion d'acide stéarique entre autres). On pense que ceux auxquels s'adresse l'ouvrage s'intéresseront davantage à la composition des graisses qu'à leur classification botanique et, malgré l'index, auraient préféré une étude basée plus simplement sur les ressemblances de constitution de graisses données.

Il y a beaucoup de bonnes choses dans ce livre qui, tout en répondant aux besoins de lecteurs américains, retiendra un public plus vaste. Il est bien imprimé, clairement disposé et pourvu d'un index suffisant. T. P. HILDITCH

GUGGENHEIM, E. A. et PRUE, J. E.: *Physicochemical Calculations*. Pp. XII + 491. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1955. 53s.

Les professeurs universitaires de chimie physique savent depuis longtemps qu'un abîme sépare les travaux expérimentaux décrits dans les articles originaux et les expériences pouvant être réalisées dans un laboratoire de faculté. Les étudiants devraient avoir la possibilité de faire la critique de résultats d'expériences qu'ils n'ont pas l'occasion d'observer. Ils devraient lire un certain nombre d'articles originaux, mais le programme ne peut pas être entièrement traité de cette façon. Le Professeur J. H. Wolfenden chercha à remédier à cet état de choses par son livre *Numerical Problems in Physical Chemistry* (Oxford, 1938) où il posait des problèmes numériques tirés d'articles originaux et laissait à l'étudiant le soin de les résoudre à l'aide de quelques indications. Le Professeur Guggenheim et M. Prue offrent une solution différente à la question; cette fois, les calculs sont faits dans le texte. Chaque problème (il y en a 171) est clairement posé avec mention de la publication originale; le principe du calcul est ensuite brièvement indiqué (des renvois aux manuels classiques auraient pu être ajoutés); après exécution des calculs, les résultats sont l'objet d'un examen critique. Le choix de problèmes est vaste et très représentatif. L'ouvrage sera extrêmement utile à l'enseignement universitaire; on ne regrette que son prix élevé.

E. F. CALDIN

REILLY, Joseph et RAE, William Norman: *Physico-Chemical Methods* (5e édition). Vols. I–II. Pp. 760 et 800 respectivement. Methuen and Company Limited, Londres. 1954. £7 10s.

Ce livre parut pour la première fois en 1926 et certains chapitres des éditions antérieures viennent d'être revus pour la cinquième. Un troisième volume supplémentaire, publié en 1945, n'a pas subi de modifications jusqu'ici.

Le Volume I traite des mesures de longueur, masse, temps, pression, température et de certaines propriétés physiques des corps telles que chaleur spécifique et viscosité. On trouve aussi la description d'appareils à haute et basse pression et de techniques du soufflage du verre et d'emploi des basses températures. Le Volume II comprend des chapitres sur les procédés de séparation tels que distillation et cristallisation, la spectrométrie, les propriétés électriques des solutions, les diélectriques, les tubes à vide thermo-ioniques et la radio-activité. L'impression est excellente et la plupart des figures et diagrammes sont très bien exécutés, montrant nettement les détails de montage dans les cas appropriés.

Le Professeur Reilly déclare dans la préface que «Le sujet est devenu si étendu . . . qu'il est pratiquement impossible à une seule personne d'en faire le tour de façon satisfaisante». En effet, les deux volumes comptent environ 1500 pages à eux deux et, sur certains points, la nouvelle édition n'a pas été mise à jour. La spectroscopie à l'infra-rouge, par exemple, sujet qui s'est beaucoup développé depuis la dernière édition, est à peine traitée. A certains endroits, un paragraphe ou deux ou quelques renvois ont simplement été ajoutés alors qu'ils auraient pu être mieux intégrés dans le texte existant.

Malgré ce défaut, les volumes ont de nombreux points de valeur, surtout en ce qui concerne la description et l'explication des procédés et des déterminations bien établis. L'œuvre rendra d'immenses services et a le grand avantage de réunir une documentation expérimentale peu commune.

J. W. LINNETT

GÉOLOGIE

FRANCIS, Wilfrid: *Coal*. Pp. VIII + 567. Edward Arnold (Publishers) Limited, Londres. 1954. 84s.

En 1918 parut la monographie classique de Marie Stopes et R. V. Wheeler sur la constitution de la houille, qui faisait en moins de cinquante pages l'inventaire des minces connaissances de l'époque sur la question. Aucune œuvre importante ne vint en combler les lacunes dans les 36 ans qui suivirent. Ce livre nouveau est l'héritier direct du premier ouvrage, étant l'œuvre d'un élève de Wheeler qui entreprit la grande tâche de résumer pour ses contemporains tous les travaux se rapportant à l'origine et à la constitution de la houille. Félicitons-le d'avoir largement réussi et recommandons son livre à tous les étudiants sérieux de la science houillère comme ouvrage de référence indispensable.

Et pourtant, le lecteur informé y cherchera en vain la réponse à certaines questions qui reviennent constamment, comme celle des progrès réalisés dans la connaissance de la constitution de la houille ou les méthodes à suivre dans les recherches actuelles et futures. Un jugement critique de ces problèmes, qui s'offrent au chercheur d'aujourd'hui, tout en introduisant un élément de controverse, aurait certainement ajouté à la valeur du livre, en

conclusion par exemple. A part ce manque d'analyse critique du vaste tableau présenté, on note le traitement insuffisant des recherches physiques sur la houille qui ont acquis ces dernières années une importance si grande dans l'élucidation de la constitution houillère. Le court chapitre sur ce sujet ne rend vraiment pas justice à la diversité, l'ingéniosité, l'envergure et les possibilités des travaux du physicien. L'aide d'un collaborateur aurait été nécessaire sur ce point.

Pour ne pas terminer sur cette note critique, disons que ce livre est une réalisation remarquable de la part d'un seul homme. L'impression et les illustrations sont de premier ordre.

A. M. WANDLESS

GOLDSCHMIDT, V. M.: *Geochemistry*, publié après la mort de l'auteur par Alex Muir. Pp. 730. Oxford University Press, Londres. 1954. 63s.

L'auteur reconnaît modestement dans la préface la difficulté pour un seul homme de faire une étude d'ensemble de la géochimie. A vrai dire, peu de savants ont fait des apports aussi importants que lui à un sujet, même à ses débuts. Son nom sera pour toujours associé à cette science, bien que la mort l'ait empêché de terminer son œuvre. Félicitons Alex Muir d'avoir réussi le tour de force de compléter le texte à l'aide de publications antérieures et de notes de l'auteur ou de documents fournis par les collaborateurs de celui-ci. Cette diversité d'éléments n'a nui en rien à la cohérence du livre qui reste non seulement extrêmement clair, mais agréable à lire et aussi captivant que la parole de Goldschmidt en personne. Sa connaissance encyclopédique de la minéralogie, de la chimie, de la géologie, de la cristallographie et de la métallurgie lui permettait de converser en égal avec les spécialistes de ces sciences. Les progrès de la chimie moderne dans son ensemble ont été profondément influencés par les travaux exposés ici et par la théorie et la philosophie basées sur eux.

L'étude géochimique détaillée des divers éléments ne diffère pas grandement de l'original; la partie théorique a été plus nettement condensée. Il est d'ailleurs préférable qu'il en soit ainsi, car les théories énoncées devront pouvoir être modifiées avec les expériences et les découvertes nouvelles. La valeur du livre comme ouvrage fondamental est unique, car il offre à la fois, comme l'aurait souhaité son auteur, l'essence de sa pensée et sa répercussion sur la science contemporaine.

F. M. BREWER

RANKAMA, K.: *Isotope Geology*. Pp. XVI + 535. Pergamon Press Limited, Londres. 1954. 75s.

Les applications de la physique nucléaire en géologie se sont étendues et multipliées si rapidement que le sujet est maintenant inextricable pour l'étudiant n'ayant pour guide que des articles originaux souvent contradictoires. Le Professeur Rankama a heureusement mis de l'ordre dans cette confusion. Les 150 premières pages font un exposé élémentaire des propriétés des noyaux stables et radioactifs. Les 300 suivantes étudient chaque élément à tour de rôle. Une bibliographie de quelque 1300 notes, dont certaines sont de 1954, termine l'ouvrage.

Les points traités comprennent: la détermination de l'âge des roches par des méthodes utilisant, entre autres, l'uranium, le plomb, le strontium, le rubidium, le potassium, l'argon et le carbone; l'âge de la croûte terrestre et des éléments; les paléo-températures par les rapports $O^{18} : O^{16}$ et le fractionnement biologique du soufre avec son influence sur la date d'apparition des bactéries. L'étude est faite du point de vue géochimique plutôt que géologique et le problème de la fusion de ces connaissances nouvelles avec la géologie existante est à peine abordé. C'est peut-être une bonne chose: le livre fait simplement la mise en ordre critique dont le sujet avait grand besoin.

L'impression, la présentation et le papier sont de la haute qualité qui distingue la Pergamon Press. Que le lecteur n'attache pas trop d'importance à certains termes bizarres du premier paragraphe de la préface; l'anglais du texte est par ailleurs excellent.

E. C. BULLARD

INDUSTRIE

BARKER, T. C. et HARRIS, J. R.: *A Merseyside Town in the Industrial Revolution: St Helens* 1750–1900. Pp. XVIII + 508. University Press of Liverpool, Liverpool. 1954. 30s.

Cette histoire bien documentée de la transformation d'un hameau en une importante ville industrielle de quelque 85 000 habitants est avant tout une étude sociale et économique. Elle contient, cependant, beaucoup de points intéressants pour l'étudiant sérieux de l'histoire de l'industrie scientifique, l'industrie chimique en particulier. On notera, par exemple, comment des facteurs apparemment négligeables peuvent affecter, parfois de façon décisive, l'emplacement et le développement d'une industrie. Ainsi, les fabricants d'alcali ne se rendirent pas compte en 1845, qu'en manquant l'occasion de faire légaliser la tonne, définie dans la pratique à 3360 livres (tonne forte), au lieu de 2240 livres (tonne impériale), dans le but de transporter leurs matières premières sur le canal Sankey, ils favorisèrent largement l'expansion chimique future de Widnes aux dépens de St Helens.

Le développement technique de l'industrie verrière qui a fait la réputation de cette dernière ville est décrit de façon assez détaillée, ainsi que les fonderies de cuivre autrefois florissantes. Le récit de la longue rivalité de la méthode de la «soude à l'ammoniaque» et du procédé Leblanc qui aboutit à la fondation de la *United Alkali Company Limited* en 1890, contient une profusion de détails introuvables ailleurs.

TREVOR I. WILLIAMS

MATHÉMATIQUES

The Geometry of René Descartes (traduit par D. E. Smith et M. L. Latham). Pp. 243. Dover Publications Incorporated, New York. 1954. Broché, $1,50; relié, $2,95.

Géométrie et coordonnées cartésiennes sont des termes bien connus de l'écolier, qui rappellent l'importance primordiale de la «Géométrie» de Descartes, premier exemple de l'emploi systématique de la méthode analytique. L'œuvre parut pour la première fois en 1637 en supplément du «Discours de la Méthode», partageant non seulement le même volume mais aussi la même pagination, et resta sous cette forme jusqu'en 1664. Les premières éditions sont très rares en français et les éditions latines, plus fréquentes, n'ont pas grande utilité pour l'étudiant moyen d'histoire scientifique.

Pour répondre à ce besoin, *Open Court Publishing Company* a publié en 1925 un fac-similé de l'édition originale de 1637 accompagné d'une traduction anglaise de David Eugene Smith, historien mathématicien bien connu, et de Marcia L. Latham, en regard du texte. C'était dans le but d'aider ceux que l'orthographe du français ancien pourrait gêner. L'édition nouvelle, de *Dover Publications*, semble être la copie photographique de la première sous un format réduit. Le fait n'est d'ailleurs

mentionné nulle part; le nom d'*Open Court* n'apparaît que dans la Préface, bien inévitablement puisqu'il figurait dans la préface originale. Ce manque de courtoisie semble être habituel à *Dover Publications*: le même fait s'est produit à propos de l'*Opticks* de Newton précédé d'une introduction de E. T. Whittaker et d'un avant-propos d'Einstein. C'était une simple réimpression de l'édition de G. Bell and Son de 1931 pour laquelle les articles préliminaires avaient été écrits. Les formalités légales ont sans doute été remplies mais l'habitude de réimprimer sans donner acte du fait n'en est pas moins peu recommandable.

L'exemplaire que nous avons sous les yeux est broché et consolidé par des broches métalliques, ce qui explique en partie son prix modique. De l'édition reliée toile, plus chère, citée sur la couverture, aucun exemplaire n'a été envoyé. E. N. DA C. ANDRADE

TAYLOR, E. G. R.: *The Mathematical Practitioners of Tudor and Stuart England*, avec un avant-propos de Sir Harold Spencer Jones. Pp. XI + 443. Cambridge University Press, for the Institute of Navigation, Londres. 1954. 55s.

Les mathématiciens dont il est question sont les fabricants d'instruments, arpenteurs et maîtres enseignant les mathématiques et la navigation pendant la période 1485–1715. Ce ne sont pas des savants mais leurs activités relèvent de la science. Le Professeur Taylor a étudié la biographie de 582 d'entre eux et passé en revue 628 de leurs œuvres. Le service ainsi rendu aux bibliographes et aux historiens scientifiques est inestimable. La plus grande partie des matériaux provient de sources originales, alors qu'il fallait consulter auparavant des dizaines d'ouvrages de référence pour découvrir les quelques renseignements existants. C'est une véritable révolution dans l'historiographie scientifique.

Outre les notes biographiques et bibliographiques, le texte contient un exposé suivi de l'évolution et les progrès de ces savants secondaires, montrant l'importance de leur contribution. Le lecteur moyen sera conquis par cette méthode nouvelle et le spécialiste profitera des vastes recherches historiques présentées ici pour la première fois. D. J. PRICE

MÉDECINE

POYNTER, F. N. L.: *A Catalogue of Incunabula in the Wellcome Historical Medical Library*. Pp. XV + 160. Oxford University Press, Londres, pour le compte du Wellcome Historical Medical Museum. 1954. 50s.

On appelle incunables les ouvrages parus dans l'enfance de l'imprimerie, c'est-à-dire depuis son invention, vers 1450, jusqu'à la fin du quinzième siècle. Un nombre surprenant de livres fut en effet imprimé pendant cette cinquantaine d'années et le présent catalogue en compte non moins de 610, bien que certains ne soient que des éditions différentes d'une même œuvre. Le regretté Sir Henry Wellcome avait «l'ambition de collectionner, sinon les toutes premières éditions, du moins de très anciennes pour chaque œuvre médicale importante du passé». Le fait que sa collection renferme 117 pièces introuvables au *British Museum* permet de juger de son succès. Les ouvrages cités ne sont pas tous exclusivement médicaux, car à cette époque la démarcation entre les diverses branches du savoir n'était pas encore nette; ainsi, on trouve la Bible et la «Chronique de Nuremberg» voisinant avec le «Canon de la médecine» d'Avicenne et le *De morbo gallico* de Gilinus, l'«Art d'aimer» d'Ovide avec la «Thérapeutique» de Galien.

Le catalogue renvoie souvent aux bibliographies classiques d'incunables, mais ajoute des détails sur les exemplaires de la collection Wellcome tels que provenance, signatures, notes manuscrites, reliures anciennes, propriété et provenance immédiate. On trouve aussi des index de noms, de sujets, d'*ex-libris*, d'imprimeurs, de pays, de villes et de chronologie. En permettant à Sir Henry de réaliser son ambition de «mettre à la disposition des étudiants d'histoire médicale les textes originaux qui sont le fondement de leur étude», ce catalogue mérite de figurer dans toutes les bibliothèques de consultation médicale et scientifique.

E. J. HOLMYARD

The British Pharmaceutical Codex 1954. Pp. XXXII + 1340. The Pharmaceutical Press, Londres. 1954. 63s.

La parution de deux éditions du Codex Pharmaceutique Britannique en cinq ans est révélatrice de la rapidité de l'évolution actuelle de la thérapeutique. Par le passé, dix ans ou plus séparaient les éditions successives. Le rôle du Codex reste inchangé: c'est toujours l'ouvrage de référence des médecins et pharmaciens et, en second lieu, le formulaire officiel des remèdes ne figurant pas dans la Pharmacopée Britannique. Comme cette dernière, le Codex est préparé par un groupe de comités s'occupant chacun d'un aspect spécial du travail pharmaceutique. Le résultat est donc une masse d'information des plus utiles, en raison du soin et de la grande expérience théorique et pratique que les auteurs y ont apportés.

Le volume compte 400 pages de moins que celui de 1934 et notons que «la pression exercée par les produits nouveaux de valeur incontestable est si forte que nombre de remèdes traditionnels ont été éliminés». La décision a dû être difficile à prendre pour plusieurs des collaborateurs. Les monographies ainsi que leurs formules développées sont admirablement faites et imprimées avec goût. La *Pharmaceutical Society* mérite toutes nos félicitations pour ce bon travail. J. H. BURN

PHOTOGRAPHIE

MEES, C. E. K.: *The Theory of the Photographic Process* (édition revue). Pp. 1133. The Macmillan Company, New York. 1954. $21,50.

Sous la direction générale du vice-président de la recherche à la Compagnie *Eastman Kodak*, un groupe éminent de chercheurs des Laboratoires Kodak de Rochester et de Harrow fit paraître ce volume de plus de mille pages, qui fait un exposé remarquable de la question photographique. La première édition, parue en 1942, devint rapidement une œuvre d'autorité sur le sujet. Les progrès réalisés depuis, dont beaucoup résultent des travaux des Laboratoires Kodak, rendirent la révision et le remaniement de nombreux chapitres nécessaires. De nouvelles sections ont été ajoutées sur les effets photographiques des particules chargées et des rayons X. La Partie III, sur la sensibilisation optique, fait un compte rendu excellent de cette question et introduit beaucoup de points nouveaux.

La recherche photographique occupera les chercheurs longtemps encore. Les chimistes et physiciens qui s'y adonnent dans le but de résoudre les problèmes existants et tous ceux qui s'intéressent à la théorie photographique seront reconnaissants à M. Mees d'avoir encouragé des membres de son personnel à se consacrer si largement à des travaux de nature fondamentale, à publier les résultats scientifiques de leurs recherches et à présenter leurs conclusions motivées dans ce volume très complet. J. W. MITCHELL

SCIENCES GÉNÉRALES

BERNAL, J. D.: *Science in History*. Pp. XXIV + 967. C. A. Watts and Company Limited, Londres. 1954. 42s.

Ce livre essaie d'établir et d'interpréter les rapports entre le développement scientifique et celui des autres aspects de l'histoire humaine. C'est une tâche énorme, trop vaste même pour un seul auteur. Pour la mener à bien, il faudrait connaître toute la science et toute l'histoire, et pas seulement les faits historiques, mais l'attitude changeante de l'homme envers l'univers. On ne peut reprocher au Professeur Bernal de ne pas posséder cette connaissance, les limites des facultés humaines étant ce qu'elles sont. Il s'est donc basé, non sur les faits historiques et scientifiques véritables, mais sur les généralisations et conclusions d'autres auteurs. Celles-ci sont souvent discutables, mais dans un ouvrage de cette ampleur, les détails de l'argumentation sont naturellement absents et nous devons nous tenir dans une très large mesure à l'opinion de l'auteur sur les questions controversables et à son choix de généralisations. On peut cependant reprocher au Professeur Bernal un certain manque d'impartialité: il a au départ de fortes convictions politiques et antireligieuses d'extrême gauche. On ne peut donc l'accepter comme guide que si l'on partage ces idées. Les débutants ne pourront pas non plus admettre ses vues sans discussion. Néanmoins, le texte retiendra l'attention d'un bout à l'autre. Les rapports de la science et de l'histoire sont étudiés avec toute l'acuité dont le Professeur Bernal est capable, et bien des points soulevés donnent matière à réflexion. C'est là une innovation louable. On regrettera seulement que de l'ivraie se soit glissée dans le bon grain.

F. SHERWOOD TAYLOR

Livres reçus

(*Note*. La mention d'un livre à ces pages n'exclut pas sa revue ultérieure.)

ASTRONOMIE

LOVELL, A. C. B.: *Meteor Astronomy*. Pp. XIV + 463. Oxford University Press, Londres. 1954. 60s.

BIOLOGIE

BEALE, G. H.: *The Genetics of* Paramecium Aurelia. Pp. 179. Cambridge University Press, Londres. 1954. 12s. 6d.

BOLLE, F.: *Mensch und Mikrobe: Abenteuer im Unsichtbaren*. Pp. 396. Safari-Verlag, Berlin. 1954. DM. 16,80.

CLOUDSLEY-THOMPSON, J. L., publié sous la direction de: *Biology of Deserts*. Pp. 224. Institute of Biology, Londres. 1954. 14s.

COLE, W. H., publié sous la direction de: *Serological Approaches to Studies of Protein Structure and Metabolism*. Pp. XI + 97. Rutgers University Press, New Jersey. 1954. $2.

JOHNSON, F. H., EYRING, H., et POLISSAR, M. J.: *The Kinetic Basis of Molecular Biology*. Pp. VII + 874. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 120s.

KLENSCH, H.: *Einführung in die Biologische Registriertechnik*. Pp. X + 222. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954. DM. 33.

LEVI, Giuseppe: *Trattato di Istologia*. Vols. I et II. Pp. XVI + 1171. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Turin. 1954. 12 000 lires.

MARSHALL, N. B.: *Aspects of Deep Sea Biology*. Pp. 380. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1954. 35s.

POCHON, J.: *Manuel Technique d'Analyse Microbiologique du Sol*. Pp. VIII + 123. Masson et Cie., Paris. 1954. 750 fr.

WAGNER, R.: *Probleme und Beispiele Biologischer Regelung*. Pp. 219. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954. DM. 29,70.

CHIMIE

COR, P.: *Émulsions, Mousses, Détersion*. Pp. XVI + 129. Dunod, Paris. 1955. 980 fr.

GLASCOCK, R. F.: *Isotopic Gas Analysis for Biochemists*. Pp. VIII + 247. Academic Press Inc., New York; Academic Books Limited, Londres. 1954. $5,80.

LOVERN, J. A.: *The Chemistry of Lipids of Biochemical Significance*. Pp. XIII + 132. Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 8s. 6d.

STEACIE, E. W. R.: *Atomic and Free Radical Reactions* (2e édition). Vols. I et II. Pp. X + 901. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. £11 4s.

THORNE, P. C. L. et ROBERTS, E. R.: *Ephraim's Inorganic Chemistry* (6e édition). Pp. XII + 956. Oliver and Boyd Limited, Edimbourg. 1954. 35s.

WILLIAMS, T. I.: *The Elements of Chromatography*. Pp. 90. Blackie and Son Limited, Glasgow. 1954. 9s. 6d.

WINOGRADOW, A. P.: *Geochemie seltener und nur in Spuren vorhandener chemischer Elemente im Boden* (traduit du russe). Pp. 249. Akademie-Verlag, Berlin. 1954. DM. 23.

WINSOR, P. A.: *Solvent Properties of Amphiphilic Compounds*. Pp. IX + 207. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1954. 40s.

CRISTALLOGRAPHIE

BORN, Max et HUANG, Kun: *Dynamical Theory of Crystal Lattices*. Pp. VIII + 420. Oxford Univeristy Press, Londres. 1954. 50s.

GÉOLOGIE

KIRKALDY, J. F.: *General Principles of Geology*. Pp. 327. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1954. 25s.

LEVORSEN, A. I.: *Geology of Petroleum*. Pp. X + 703. W. H. Freeman and Company, Californie; Bailey Bros. and Swinfen Limited, Londres. 1954. 68s.

MATHÉMATIQUES

DE MORGAN, A. (avec une nouvelle introduction par NAGEL, E.): *A Budget of Paradoxes*. Pp. 387. Dover Publications Inc., New York. 1954. $4,95.

HADAMARD, J.: *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Pp. XIII + 145. Dover Publications Inc., New York. 1954. Cartonné, $2,50; broché, $1,25.

MÉDECINE

DAVIES, C. N.: *Dust is Dangerous*. Pp. XVII + 116. Faber and Faber Limited, Londres. 1954. 21s.

The National Formulary 1955. Pp. 210. The Pharmaceutical Press, Londres; The British Medical Association, Londres. 1955. Ordinaire, 5s.; interfolié, 8s.

RAJEWSKY, B.: *Strahlendosis und Strahlenwirkung*. Pp. 112. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954. DM. 11.

SHAW, J. H., publié sous la direction de: *Fluoridation as a Public Health Measure*. Pp. V + 232. American Association for the Advancement of Science, Washington; Bailey Bros. and Swinfen Limited, Londres. 1954. 40s.

PHILOSOPHIE

DINGLE, H.: *The Sources of Eddington's Philosophy*. Pp. 64. Cambridge University Press, Londres. 1954. 3s. 6d.

MUCKERMANN, H.: *Vom Sein und Sollen des Menschen*. Pp. 344. Westliche Berliner Verlagsgesellschaft Heeneman KG, Berlin-Wilmersdorf. 1954. DM. 22,50.

MÜLLER, W. D.: *Die Welt sieht anders aus*. Pp. 287. R. Oldenbourg, Munich. 1954. DM. 15,80.

PHYSIQUE

JOHNS, R. V. et WARE, W. F.: *Advanced Level Examples in Physics*. Pp. VIII + 346. Macmillan and Company Limited, Londres. 1954. 16s.

JOHNSTON, J. E., FAIRES, R. A. et MILLETT, R. J., publié sous la direction de: *Radioisotope Conference*, 1954, Vol. II. *Physical Sciences and Industrial Applications*. Pp. IX + 223. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1954. 45s.

The Physics of Particle Size Analysis (Congrès organisé par l'Institute of Physics, 6–9 Avril 1954). British Journal of Applied Physics, Supplément N° 3. Pp. VI + 218. The Institute of Physics, Londres. 1954. 35s.

ROBERTSON, A. J. B.: *Mass Spectrometry*. Pp. 135. John Wiley and Sons Inc., New York; Methuen and Company Limited, Londres. 1954. 8s. 6d.

SWAINGER, K.: *Analysis of Deformation*. Vol. II. Pp. XXXVI + 365. Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 70s.

PSYCHOLOGIE

ZANGWILL, O. L.: *Psychology as the Study of Behaviour (an Inaugural Lecture)*. Pp. 36. Cambridge University Press, Londres. 1954. 2s. 6d.

SCIENCES GÉNÉRALES

DUVAL, C.: *English for the Scientist* (4e édition). Pp. 96. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 1954. 450 fr.

COSSA, P.: *La Cybernétique; «Du Cerveau Humain aux Cerveaux Artificiels»*. Pp. 98. Masson et Cie., Paris. 1955. 525 fr.

GUYTHER, J.: *First Voyage*. Pp. 208. Andrew Melrose Limited, Londres. 1954. 16s.

THORNTON, J. L. et TULLY, R. I. J.: *Scientific Books, Libraries and Collectors*. Pp. X + 288. The Library Association, Londres. 1954. 24s.

United Kingdom Postgraduate Awards, 1954–5. Pp. 117. The Association of Universities of the British Commonwealth, Londres. 1954.

TECHNOLOGIE

CORLEY, H. M., publié sous la direction de: *Successful Commercial Chemical Development*. Pp. XXV + 374. John Wiley and Sons Inc., New York. Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 62s.

SONNEBORN, R. H.: *Fiberglas Reinforced Plastics*. Pp. XII + 244. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 36s.

WEIL, B. H.: *The Technical Report: Its Preparation and Use in Industry and Government*. Pp. XII + 485. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1954. 96s.

ZOOLOGIE

LACK, D.: *The Natural Regulation of Animal Numbers*. Pp. 343. Oxford University Press, Londres. 1954. 35s.

WRAGGE MORLEY, D.: *The Evolution of an Insect Society*. Pp. 215. George Allen and Unwin Limited, Londres. 1954. 18s.

Notes biographiques sur les collaborateurs

SIR JOHN COCKCROFT

Naquit à Todmorden, Yorkshire, en 1897 et fit ses études à l'Université de Manchester et à *St. John's College*, Cambridge. Après des travaux sur la génération des champs magnétiques puissants et des basses températures, il s'occupa avec E. T. S. Walton de la désintégration des noyaux. En 1935 il assuma la charge du Laboratoire Mond de la *Royal Society*, à Cambridge, dont il dirigea les recherches sur les basses températures. Fut nommé Professeur de Physique en 1939. Pendant la guerre il travailla au radar en tant que directeur-en-chef à la Recherche Anti-aérienne. En 1940 il prit part aux premiers travaux sur la possibilité des bombes et piles atomiques. En 1944 il devint directeur des *Chalk River Laboratories* au Canada. Il revint en Angleterre en 1946 diriger le Centre de Recherches Atomiques de Harwell.

T. G. PICKAVANCE

Naquit en 1915 et fit ses études à l'Université de Liverpool. Il prit part aux travaux de construction du cyclotron de la ville entre 1937 et 39, s'occupant aussi de l'étude des radiations cosmiques. En 1946 il entra au Centre de Recherches Atomiques de Harwell.

J. M. BIJVOET

Naquit à Amsterdam en 1892 et étudia la chimie à l'Université de la ville où il fut nommé maître de conférences de cristallographie et de thermodynamique en 1929. Il est depuis 1939 Professeur de Chimie physique à l'Université d'Utrecht. Tous ses travaux portent sur l'analyse par les rayons X et, en collaboration avec le regretté Dr. Kolkmeyer et le Professeur MacGillavry, il a fait paraître un manuel d'introduction à l'étude de la question. Il a établi en Hollande une école de cristallographie par les rayons X. Il édite une section de *Structure Reports*, publication de l'Union Internationale de Cristallographie dont il fut Président de 1951 à 54. Il est Membre de l'Académie des Pays-Bas et Membre étranger de l'Académie flamande.

WILLIAM HOLMES

Naquit en 1917 et étudia à *Magdalen College*, Oxford. Est actuellement maître de conférences de zoologie et d'anatomie comparée à la même Université. La plupart de ses recherches portent sur l'histologie du système nerveux.

E. GLUECKAUF

Est né en 1906 et étudia la chimie à l'Université et à la *Technische Hochschule* de Berlin. Fit ensuite des recherches au laboratoire de F. A. Paneth à l'*Imperial College* de Londres, puis à Durham. En 1947 il entra au Centre de Recherches Atomiques de Harwell. Ses principales contributions à la chimie sont des articles scientifiques sur la théorie de la chromatographie et de l'échange d'ions, sur les micro-constituants de l'atmosphère et sur des points spécialisés en radioactivité.

DEREK J. PRICE

Naquit en 1922 et étudia la physique expérimentale à l'Université de Londres, puis se lança dans des recherches sur les propriétés optiques des métaux aux températures élevées. Après avoir enseigné à l'Université de Malaisie, il reçut une bourse des *Imperial Chemical Industries* pour étudier à Cambridge l'histoire des instruments scientifiques. Il poursuit actuellement ce travail à *Christ's College*, Cambridge, avec l'aide de la Fondation Nuffield. Est l'éditeur de *The Equatorie of the Planetis*, nouvelle édition du manuscrit astronomique olographe attribué à Chaucer.

SIR FRANCIS KNOWLES

Naquit à Ottawa en 1915 et étudia à *Oriel College*, Oxford, se spécialisant en zoologie et anatomie comparée. En 1937 il reçut la bourse «napolitaine» de cette Université et alla étudier l'endocrinologie des lamproies et des crustacés au Centre Zoologique de Naples. Il entreprit alors des recherches sur la neurosécrétion qu'il poursuivit aux Bermudes grâce à une subvention de la *Royal Society*. Il étudie en ce moment la neurosécrétion des crustacés avec l'aide de la Fondation Nuffield. Il dirige la section de biologie de *Marlborough College* depuis 1938. A publié plusieurs manuels de biologie élémentaire.